

UNIVERSIDADE FUMEC

FACULDADE DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - FEA

Igor Bicalho Monteiro

**INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE FIBRAS NO COMPORTAMENTO NO PROCESSO
DE FISSURAÇÃO DAS ARGAMASSAS DE ASSENTAMENTO DE BLOCOS DE
CONCRETO PARA ALVENARIA ESTRUTURAL.**

Prof. Orientador: Dra. Edna Alves Oliveira
Prof. Coorientador: Dr. João Batista Santos de Assis

Belo Horizonte,
Novembro/2019

Igor Bicalho Monteiro

**INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE FIBRAS NO COMPORTAMENTO NO PROCESSO
DE FISSURAÇÃO DAS ARGAMASSAS DE ASSENTAMENTO DE BLOCOS DE
CONCRETO PARA ALVENARIA ESTRUTURAL.**

Dissertação de mestrado apresentada à Faculdade de Engenharia e Arquitetura da Universidade Fumec, como requisito parcial para a conclusão do curso de Mestrado em Sistemas Construtivos.

Prof. Orientador: Dra. Edna Alves Oliveira
Prof. Coorientador: Dr. João Batista Santos de Assis

Belo Horizonte,
Novembro/2019



FUMEC

Igor Bicalho Monteiro

**INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE FIBRAS NO COMPORTAMENTO MECÂNICO DA
ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO DE PRISMAS DE BLOCOS DE CONCRETO
PARA ALVENARIA ESTRUTURAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação
em Processos Construtivos da Universidade Fumec,
como requisito parcial para obtenção do título de
Mestre em Processos Construtivos.

Aprovado em: 11 de novembro de 2019.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dra. Edna Alves Oliveira – Universidade FUMEC
(Orientadora)

Prof. Dr. Luiz Antônio Melgaço Nunes Branco - Universidade FUMEC
(Examinador Interno)

Prof. Dr. João Batista Santos de Assis – PUC MINAS
(Coorientador)

Profa. Dra. Gláucia Nolasco de Almeida Mello – PUC MINAS
(Examinador Externo)

CAMPUS

Rua Cobre, 200 - Cruzeiro
30310-190 - Belo Horizonte, MG
Tel. (31) 3228-3000
www.fumec.br

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

M775i Monteiro, Igor Bicalho, 1993-
Influência da adição de fibras no comportamento no processo de fissuração das argamassas de assentamento de blocos de concreto para alvenaria estrutural / Igor Bicalho Monteiro. - Belo Horizonte, 2018.
99 f. ; il. ; 29,7 cm

Orientadora: Edna Alves Oliveira
Coorientador: João Batista Santos de Assis
Dissertação (Mestrado em Processos Construtivos), Universidade FUMEC, Faculdade de Engenharia e Arquitetura, Belo Horizonte, 2018.

1. Argamassa. 2. Alvenaria. 3. Blocos de concreto. 4. Materiais de construção. I. Título. II. Oliveira, Edna Alves. III. Assis, João Batista Santos de. IV. Universidade FUMEC, Faculdade de Engenharia e Arquitetura.

CDU: 691

Dedico esse trabalho a Deus e
a minha mãe que sempre fez o
impossível virar possível.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer a Deus por iluminar meu caminho, me concedendo força e persistência para poder a continuar nos momentos mais difíceis e principalmente por ter me dado uma família tão especial.

Em segundo, à orientadora professora Dr.^a Edna Alves Oliveira por suas importantes contribuições, pelo tempo, paciência e toda competência durante todo trabalho. Ao coorientador, professor Dr. João Batista Santos de Assis pela honra de ter aceitado participar do desenvolvimento desse trabalho, agregando muito conhecimento técnico, sem o seu amparo nada disso seria possível. À coordenadora do Laboratório de Engenharia Civil da PUC MINAS, Professora Ana Lúcia Cordeiro Penna. Um agradecimento especial ao professor Dr. Luiz Antônio Melgaço, que durante toda minha trajetória desde a graduação na Universidade FUMEC, sempre me estimulou a buscar mais conhecimento, me ajudando a superar várias dificuldades, inclusive a vergonha de apresentar em público, sendo uma das razões que tornaram esta conquista possível.

Aos graduandos e assistentes de pesquisa Nathalia Teixeira, Natalia Ceccotti , Laura Brant e Philipe Mayrink , que mesmo durante as férias escolares continuaram presentes com dedicação e comprometimento.

À Universidade Fumec, que durante toda a graduação, me forneceu a oportunidade de atuar como monitor, estagiário, experiência de intercambio e durante o mestrado me permitiu trabalhar com o Projeto de pesquisa Propic/2018.

À Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, por oferecer todo equipamento necessário para execução dos ensaios, com auxílio da equipe de técnicos: Igor, Heider, Sidney, Diego, Roberto, Antônio e André, pela disposição, companheirismo e disponibilidade, fazendo com que as longas horas de ensaios fossem agradáveis.

Às minhas mães, Renata Bicalho e Olga Bicalho, a quem dedico esse trabalho, por todo amor incondicional, confiança, força, dedicação, apoio, amizade e carinho. Obrigado por me ensinarem a ver o lado bom de tudo, fornecendo o apoio necessário para esta conquista. Ao meu pai Edmilton Monteiro (In memoriam) e meu segundo pai e avô, Lucio Bicalho (In memoriam) que onde quer que eu esteja, nunca deixaram de

me amar e confiar em mim, e foram como exemplos de que devemos aproveitar ao máximo os pequenos momentos da vida.

Ao Celio Correia, que em vários momentos esteve presente, fornecendo conselhos, motivações e segurança para seguir em frente.

Aos meus avós paternos Edith Monteiro e Milton Monteiro, por todo apoio durante a minha jornada, sendo exemplos a serem seguidos de companheirismo e carinho, me fornecendo conselhos que ajudaram no meu crescimento pessoal e profissional.

Ao meu companheiro, amigo de todas as horas, Teddy, que em todos os momentos esteve ao meu lado, com sua alegria, fazendo com que meus momentos difíceis fossem superados.

À toda minha família, em especial aos meus tios: Ronise, Humberto e Rosilene, por todo apoio, carinho e motivação, e ao meu tio Aluizio Procópio por todo ensinamento, sempre muito paciente, exemplo de colega de profissão. Obrigado a todos por me ajudarem nessa jornada.

Aos meus amigos Bárbara Lacerda e Bruno Magalhães, responsáveis por vários momentos de lazer durante os fins-de-semana, dando apoio durante esta etapa que finalizo e ótimos conselhos durante toda a dissertação.

À minha namorada Bárbara Mendes, pelo apoio e resignação nas horas mais duras do processo de pesquisa e construção da escrita deste trabalho, pelo seu amor e carinho. Obrigado por estar comigo, sempre buscando me incentivar.

Ao meu irmão Hugo Bicalho, por ser um irmão maravilhoso, por suas palavras de incentivo, oferecendo conselhos em momentos de estresse, sendo um dos pilares fundamentais por realização dessa conquista.

Agradeço a todos que fizeram e fazem parte dessa conquista, todos vocês são demais!

*"A bênção do Deus Eterno traz prosperidade, e
nenhum esforço pode substituí-la"*

(Provérbios 10:7)

RESUMO

A argamassa é utilizada basicamente em todas as construções, seja para assentamento de blocos ou para revestimento, sendo em muitas obras o fator determinante para se verificar a qualidade da argamassa, dois requisitos a consistência e trabalhabilidade. Porém ao se relevar apenas esses fatores, muitas manifestações patológicas podem aparecer, pois, a argamassa pode desempenhar diferentes funções, sendo sua principal, quando utilizadas como juntas de assentamento em paredes de alvenaria estrutural: servir como ponte de transferência de esforços solicitantes além de melhorar o desempenho térmico e acústico das edificações. Em virtude da importância da argamassa em obras realizadas em alvenaria estrutural, O propósito dessa pesquisa visa analisar: a influência da adição de fibras de polipropileno nas propriedades físicas e mecânicas de argamassa utilizada no assentamento de blocos concretos estruturais, sendo realizados ensaios com argamassa verificando, a resistência à compressão axial, resistência à tração indireta e resistência a tração na flexão e ensaios com prismas constituídos de três blocos para verificar o módulo de deformação elástica e a compressão axial. Foi considerado o traço único 1:0,5:4,5 a/c=0,6 (cimento:cal:areia), variando apenas o acréscimo fibras de polipropileno de multifilamentos seguindo as recomendações do fabricante para reforço na estrutura. Os materiais e métodos utilizados foram conforme especificações das normas da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) sendo de suma importância para avaliar o comportamento da alvenaria estrutural. Foram realizados experimentos em prismas com três blocos, em dimensões reais visando determinar a resistência à compressão axial, o módulo de deformação e o modo de ruptura da alvenaria estrutural. Dessa forma, foi possível verificar o aumento de resistência a tração indireta na média de 43,74%, tração na flexão na média de 16,91% e aumento de 5,15% no módulo de elasticidade na idade de 56 dias. Quanto ao processo de fissuração do prisma, observou-se o aumento da quantidade de prismas que romperam antes do instante de carga da primeira fissura.

Palavras-chaves: Argamassa de assentamento. Alvenaria estrutural. Blocos de concreto estruturais. Fibras de polipropileno.

ABSTRACT

A mortar is created basically in all constructions, whether for block laying or for cladding, being in many works the determining factor to check the quality of the mortar, two requirements of consistency and workability. However, if only these factors are relevant, many pathologies may appear, as an organization may alter different functions, the main one being used as a joining of structural masonry walls: it serves as a transfer bridge for requested use requests. besides improving the thermal and acoustic performance of buildings. Due to the importance of mortar in works performed in structural masonry, the objective of this research is to analyze: an influence of the addition of polypropylene fibers in the categories Arts and mechanics of mortar, authorizations of applied concrete blocks are not allowed, being executed with mortar. The axial compressive strength, the indirect removal strength and the flexural flexural strength and the tests with three blocks prisms were verified to verify the elastic and axial deformation modulus. The single trait 1: 0.5: 4.5 a / c = 0.6 (cement: lime: sand) was considered, varying only the addition of multifilament polypropylene fibers, following the manufacturer's recommendations for reinforcement of the structure. . The materials and methods used were the requirements of ABNT (Brazilian Association of Technical Standards) norms, being the evaluation or behavior of structural masonry of paramount importance. Experiments were performed on three-block prisms at real values that can determine the axial compressive strength, the transformation modulus and the rupture mode of the structural masonry. Thus, it was possible to verify the increase of resistance to an indirect average of 43.74%, application of average flexion of 16.91% and 5.15% increase in the modulus of elasticity at the age of 56 days. As for the prism cracking process, decrease or increase the number of prisms that ruptured before the first crack loading time.

Key words: Settlement mortar. Structural masonry. Structural concrete blocks. Polypropylene fibers.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Tensões do prisma, bloco e argamassa.....	23
Figura 2 - Diferenças entre bloco estrutural e vedação.....	24
Tabela 1 - Classes dos blocos de concreto estruturais conforme NBR 6136.....	25
Figura 3 – Famílias dos blocos.....	26
Figura 4 - Muralha da China.....	27
Figura 5 - Notre Dame: Paris, França	27
Figura 7 - Elementos utilizados nas argamassas e concreto	30
Figura 8 - Fissuração dos blocos	31
Figura 9 - Perfil da curva	33
Figura 10 - Utilização de fibras na fabricação de blocos.	33
Figura 11 - Concentração de tensões em compósitos cimentícios sem fibras	34
Figura 12 - Concentração de tensões em compósitos cimentícios reforçado com fibras.	34
Figura 13 - Diferentes tipos de fibras	35
Figura 14 - Tipos de fibras de polipropileno.	36
Figura 15 – Frasco <i>Le Chatelier</i> – Para ensaio para massa específica	43
Figura 16 - Frasco de Chapman para determinação da massa específica da areia.	45
Figura 17 - Material utilizado para os ensaios na areia seca e úmida.....	46
Figura 18 - Verificação da presença de impureza orgânica.	46
Figura 19 - Zona granulométrica da areia	47
Figura 20 - Separação granulométrica da areia.	48
Figura 21 - Ensaio do limite de consistência	49
Figura 22 – Ensaio de compressão axial/blocos com a superfície regularizada	52
Figura 23 - Confecção dos prismas.....	54
Figura 24 - Ensaio de tração na flexão.....	57
Figura 25 - Corpo de prova sustentado pelas fibras.....	58
Figura 26 - Ensaio de tração direta	58
Figura 27 - Corpo de prova tração indireta.....	59
Figura 28 – Modelo do corpo de prova prismático.	60
Figura 29 - Instante de carga da primeira fissurados prismas padrão aos 7 dias.	61
Figura 30 - Instante de carga da primeira fissurados prismas padrão aos 56 dias. ..	62

Figura 31 - Instante de carga da primeira fissurados prismas com fibras aos 7 dias.	63
Figura 32 - Instante de carga da primeira fissurados prismas com fibras aos 56 dias	64
Figura 33 - Dispositivo instalado para afixar os relógios comparadores.	66
Gráfico 1 - TensãoxDeformação aos 7 dias dos prismas.....	67
Gráfico 2 - linha de tendência média dos prismas sem fibras aos 7 dias.....	68
Gráfico 3 - de linha de tendência média dos prismas com fibras aos 7 dias.....	68
Gráfico 4 - Comparação da TensaioxDeformação média aos 7 dias dos prismas.....	69
Gráfico 5 - TensãoxDeformação aos 56 dias dos prismas.....	70
Gráfico 6 - linha de tendência média dos prismas sem fibras aos 56 dias.....	71
Gráfico 7 - linha de tendência média dos prismas com fibras aos 56 dias.....	71
Gráfico 8 - TensaioxDeformação média aos 56 dias dos prismas.	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classes dos blocos de concreto estruturais conforme NBR 6136.....	25
Tabela 2 - Resultado da granulometria da areia zona utilizável.	47
Tabela 3 - Limites inferiores e superiores	48
Tabela 4 - Leituras realizadas nas argamassas	49
Tabela 5 – Massa Específica das argamassas testadas com e sem fibras	50
Tabela 6 - Classificação em estado fresco segundo a sua massa específica.....	50
Tabela 7 - Classificação da argamassa em estado fresco.....	50
Tabela 8 - Classificação da argamassa de acordo com a retenção de água.....	51
Tabela 9 - Retenção de água das argamassas.....	51
Tabela 10 - Resultado da ruptura dos blocos de concreto.....	53
Tabela 11 - Valores de \emptyset em função da quantidade de blocos.....	54
Tabela 12 - Ruptura dos corpos de provas de argamassa na compressão axial.....	56
Tabela 13 - Resultados da resistência à tração na flexão.....	57
Tabela 14 - Resultados dos corpos de prova na tração direta.....	59
Tabela 15 - Ruptura dos prismas padrão.....	64
Tabela 16 - Ruptura dos prismas com argamassa que possui adição de fibra de polipropileno.....	65
Tabela 17 - Comparativo do instante de carga da primeira fissurados prismas.....	65
Tabela 18 - Módulo de elasticidade e tensão de ruptura aos 7 dias.....	73
Tabela 19 - Módulo de elasticidade e tensão de ruptura aos 56 dias.....	73
Tabela 20 - Resultados obtidos para resistência a compressão e resistência à tração.....	75
Tabela 21 - Resultados obtidos para módulo de elasticidade e fissuração.....	75

LISTA DE SIGLAS

a.C. -	Antes de Cristo
ABNT -	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CE -	Conformidade Europeia
CH -	Cal Hidratada
CP -	Cimento Portland
d.c. -	Depois de Cristo
DMX -	Diâmetro Máximo
FEA -	Faculdade de Engenharia e Arquitetura
Fumec -	Fundação Mineira de Educação e Cultura
LESC -	Laboratório de Ensaios de Sistemas Construtivos
LVDT -	Transdutor de Deslocamento Variável Linear
MEV -	Microscopia Eletrônica de Varredura
MF -	Módulo de Finura
NBR -	Norma Brasileira Regulamentada
NM -	Norma Mercosul
PP -	Polipropileno
PVC -	Policloreto de Vinila

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
1.1	Objetivo geral.....	19
1.2	Objetivos específicos	19
1.3	Justificativa	20
2	REFERENCIAL TEÓRICO	22
2.1	Blocos.....	23
2.1.1	<i>Conceito</i>	<i>23</i>
2.1.2	<i>Blocos na engenharia civil</i>	<i>24</i>
2.2	Alvenarias Estruturais.....	26
2.3	Argamassa	29
2.4	Materiais compósitos	32
2.5	Aplicação das fibras na construção civil.....	33
2.6	Fibras de polipropileno	35
2.7	Fibras na argamassa	37
2.8	Fibras de polipropileno na argamassa	37
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	38
3.1	Materiais	38
3.1.1	<i>Cimento</i>	<i>38</i>
3.1.2	<i>Cal hidratada</i>	<i>38</i>
3.1.3	<i>Areia Lavada</i>	<i>39</i>
3.1.4	<i>Blocos de concreto.....</i>	<i>39</i>
3.1.5	<i>Fibras de polipropileno</i>	<i>40</i>
3.1.6	<i>Argamassa</i>	<i>40</i>
3.1.7	<i>Capeamento dos blocos</i>	<i>40</i>
3.2	Métodos	41
3.2.1	<i>Determinação do módulo de elasticidade dos prismas</i>	<i>41</i>
3.2.2	<i>Determinação da resistência à compressão do prisma</i>	<i>41</i>
3.2.3	<i>Verificação do surgimento de fissuras dos prismas</i>	<i>41</i>
3.2.4	<i>Determinação da resistência à tração indireta da argamassa.....</i>	<i>41</i>
3.2.5	<i>Determinação da resistência à tração na flexão da argamassa</i>	<i>42</i>
3.2.6	<i>Determinação da resistência à compressão axial da argamassa</i>	<i>42</i>
4	ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	43

4.1	Análise e caracterização dos materiais	43
4.1.1	Cimento	43
4.1.2	Cal.....	44
4.1.3	Fibra de polipropileno	44
4.1.4	Areia natural.....	44
4.1.5	Argamassa	49
4.1.6	Blocos de concreto estrutural.....	52
4.1.7	Ensaio de compressão axial na argamassa.....	54
4.1.8	Ensaio de tração na flexão da argamassa	56
4.1.9	Ensaio de tração indireta – Ensaio Lobo Carneiro.....	58
4.2	Instante de carga da primeira fissura	60
4.2.1	Ensaio do módulo de elasticidade.....	66
5	SÍNTESES DOS RESULTADOS.....	75
6	CONCLUSÃO.....	77
7	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	79
8	CRONOGRAMA	80
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	81
	APÊNDICE A – TABELA TENSÃO X DEFORMAÇÃO – SEM FIBRAS 7 DIAS	88
	APÊNDICE B – Relação Tensão x Deformação e instante de carga da primeira fissura para prismas sem fibras aos 7 dias.....	89
	APÊNDICE C – TABELA TENSÃO X DEFORMAÇÃO – SEM FIBRAS 56 DIAS	91
	APÊNDICE D – Relação Tensão x Deformação e instante de carga da primeira fissura para prismas sem fibras aos 56 dias.....	92
	APÊNDICE E – TABELA TENSÃO X DEFORMAÇÃO– COM FIBRAS 7 DIAS	94
	APÊNDICE F – Relação Tensão x Deformação e instante de carga da primeira fissura para prismas com fibras aos 7 dias	95
	APÊNDICE G – TABELA TENSÃO X DEFORMAÇÃO – COM FIBRAS 56 DIAS	97
	APÊNDICE H – Relação Tensão x Deformação e instante de carga da primeira fissura para prismas com fibras aos 56 dias	98
	APÊNDICE I – ESTATÍSTICA DESCRITIVA	100

ANEXO 1 – CARACTERIZAÇÃO DA FIBRA DE POLIPROPILENO 101

1 INTRODUÇÃO

A construção civil está em constante processo de evolução, há edificações mais altas e esbeltas tentando manter o custo baixo, com a inclusão das inovações tecnológicas para fim de suprir as novas necessidades do mercado. Para manter o custo baixo, e devida à mão de obra para construção civil de certa forma mais barata que nos países considerados de 1º mundo, muito pouco se tem feito para se alterar o método convencional de assentamento de blocos, bem como a forma de confecção da argamassa.

Inicialmente o comportamento de uma estrutura está relacionado com o desempenho das suas ligações, que são responsáveis, por diversos aspectos entre eles a distribuição de cargas. Portanto, as ligações são regiões onde ocorrem concentrações de tensões sendo propícia a gerar manifestações patológicas entre elas a fissuração. A fissuração segundo MEHTA (1997) é um dos principais problemas da argamassa utilizada para alvenaria estrutural por formar rede de microfissuras interconectadas sendo alvo de agentes agressivos.

Além disso, a argamassa é um dos itens mais conhecidos da construção civil, e fundamental na construção da alvenaria estrutural, sendo responsável pelas transferências de tensões na alvenaria, porém o seu processo de produção é arcaicas, possuindo poucos acréscimos de tecnologias recentes.

Com a verificação do agravante de fissuração em alvenaria estrutural, tem se feito inúmeras pesquisas para se combater essa manifestação tecnológica, identificando várias causas. A argamassa, quando está submetida em um estado biaxial ou triaxial devido ao confinamento lateral, ocasiona esforços de tração o que geram nos blocos de alvenaria fissuras (MOHAMAD et al.2009), sendo necessário empregar novos materiais a fim de diminuir esse impacto.

Um dos novos materiais utilizados são as fibras, que segundo Carvalho e Figueiredo Filho (2010), relatam que sua principal função ao ser adicionadas em compósitos cimentícios é combater a fissuração, diminuir a taxa de armadura, além de melhorar a aderência entre os componentes podendo ser utilizadas no concreto e na argamassa, proporcionando ao compósito aumento de ductilidade e a tenacidade de materiais frágeis. Segundo Smarzewski e Hunek (2015) ao se acrescentar fibras

em elementos frágeis, eles, contribuem para retardar o surgimento de fissuras, além de que em seus experimentos, após o rompimento do corpo de prova, não houve a separação, concluindo que o acréscimo de fibras contribui para a integridade e estabilidade da estrutura.

Diante do exposto e para contribuição dos estudos já realizados, apresentam-se neste trabalho, características das fibras de polipropileno, comparação de resultados da argamassa reforçada com fibras e do concreto convencional, foram analisados resultados da resistência a compressão diametral, tração na flexão, tração simples da argamassa, bem como analisar o efeito o modulo de elasticidade em prismas de três blocos, sendo realizados ensaios visuais para verificação de fissuração dos prismas enquanto submetidos a compressão..

1.1 Objetivo geral

Analisar a influência da adição de fibras de polipropileno na resistência à compressão e à tração na flexão da argamassa de assentamento, bem como, a influência no comportamento mecânico em prismas com três blocos de concreto com função estrutural.

1.2 Objetivos específicos

- Determinar a resistência à compressão axial da argamassa de assentamento com e sem adição de fibras de polipropileno;
- determinar a resistência à tração na flexão da argamassa de assentamento com e sem adição de fibras polipropileno;
- determinar a resistência à compressão de prismas confeccionados com três fiadas de concreto estruturais, em dimensões reais, e argamassa de assentamento com e sem adição de fibras polipropileno;
- determinar o módulo de deformação dos prismas confeccionados com três fiadas de concreto estruturais, em dimensões reais, e argamassa de assentamento com e sem adição de fibras de polipropileno;
 - verificar a viabilidade técnica da utilização de fibras na alvenaria estrutural no combate da fissuração..

1.3 Justificativa

A motivação de analisar a adição de fibras na argamassa de assentamento vem em decorrência de que o comportamento de um sistema estrutural com elementos pré- moldados está intimamente ligado ao desempenho das suas conexões, que são responsáveis, entre outros, pela distribuição dos esforços na estrutura. Por sua vez, as ligações são regiões de comportamento complexo, onde ocorrem concentrações de tensões e, portanto, merecem atenção especial por parte dos pesquisadores e projetistas. (BARBOSA, 2017).

Considera-se, também, que a partir de estudos científicos, pesquisadores verificaram que a adição de fibras em argamassas minimiza o processo de fissuração, aumenta a capacidade de deformação horizontal e vertical e aumenta a aderência entre blocos e argamassa, fazendo com que o sistema mantenha por mais tempo sua capacidade resistente, o que significa um aumento da ductilidade no comportamento da ligação. Segundo Al Khalaf (1979) o aumento das propriedades mecânicas do compósito está relacionado com a composição da fibra a ser adicionada bem como a sua adesão à matriz.

Segundo HASSAN, ROBERY e AL-ALAWI (2000), as manifestações patológicas resultam em altos custos para intervenções corretivas. As manifestações patológicas são observadas, principalmente, nas regiões entre as juntas de assentamento e os blocos, onde ocorrem concentrações de tensões. Dentre danos originados pela concentração de tensões nas juntas de assentamento, a fissuração é sua principal.

Além disso, os processos construtivos em alvenaria estrutural possuem grande durabilidade, menor tempo de execução e menor preço, quando comparadas com estruturas de concreto convencional. Entretanto, necessitam serem empregadas melhorias na tecnologia da argamassa de assentamento para que consigam serem evitadas certas manifestações patológicas, principalmente as fissuras. Segundo Peña (2004) quando ocorrem manifestações patológicas, são necessárias intervenções para garantir a integridade da estrutura.

Diversos estudos comprovam a eficácia da utilização de fibras na argamassa. Alguns dos seus benefícios são promover maior capacidade de deformação da argamassa e atuar para resistir esforços de tração simples e tração na flexão.

.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Um grande uso na construção civil, as argamassas são constituídas de agregado miúdo, aglomerante e água, podendo ou não ter a presença de aditivos NBR 7200 (ABNT, 1998). Elas podem ser de assentamento ou de revestimento e vêm cada vez mais sendo estudadas com o intuito de buscar melhorias em suas propriedades e no seu comportamento.

Em virtude de a alvenaria estrutural ter como base de sua resistência as paredes, que de forma sucinta são constituídas com blocos estruturais, argamassa, revestimento e, se necessária, a utilização de armaduras. Pelo fato das paredes em alvenaria com função estrutural exercerem grande influência no setor da construção civil, têm-se aumentado consideravelmente as pesquisas em relação aos seus constituintes, a fim de obter maiores resistências com menores custos e maior ductilidade.

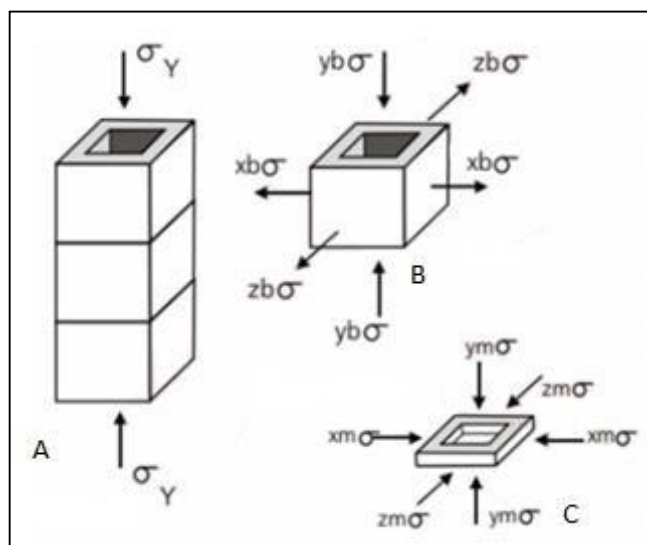
Diversos trabalhos destacam o aumento de resistência dos blocos de concreto estrutural. Castro (2015) explica que o acréscimo da resistência do bloco pode não significar aumento na resistência da alvenaria, pois sua rigidez aumenta em relação à argamassa, o que gera diferenças de aumento das deformações do bloco e da argamassa. Além disto, Castro (2015) afirma: “uma vez que há uma restrição no movimento entre aqueles que são devidos à aderência, maiores tensões laterais surgem no bloco, o que pode acelerar a falha do conjunto”. Em relação à alvenaria estrutural, deve-se analisar não apenas os componentes de forma isolada avaliando o conjunto, portanto as normas técnicas estabelecem equação para determinar a resistência a compressão da alvenaria com base nas resistências dos blocos e da argamassa.

Visando a melhoria tecnológica nos materiais, o setor da construção civil, segundo Oliveira (2001), está se inovando de forma crescente, aumentando a utilização de fibras em alvenaria estrutural a fim em melhorar suas propriedades mecânicas e minimizar as manifestações patológicas. Segundo Sun (2009), as maiores vantagens da utilização de fibras poliméricas na argamassa estão relacionadas com o da resistência a tração na flexão, tração simples e tenacidade,

apresentando aumento pouco significativo na resistência à compressão e tem como principal desvantagem o alto custo comercial

Portanto a alvenaria é um conjunto constituído por blocos e argamassa sendo relacionado por Mohamed; Rizzatti; Roman (2012) a importância de conhecer o comportamento estrutural da alvenaria, sendo ilustrado na Figura 1 o comportamento do prisma ao ser submetido a cargas verticais, sendo (a) as tensões no prisma, (b) as tensões no bloco e (c) as tensões na argamassa.

Figura 1 – Tensões do prisma, bloco e argamassa



Fonte: Roman, 1998 (adaptada).

2.1 Blocos

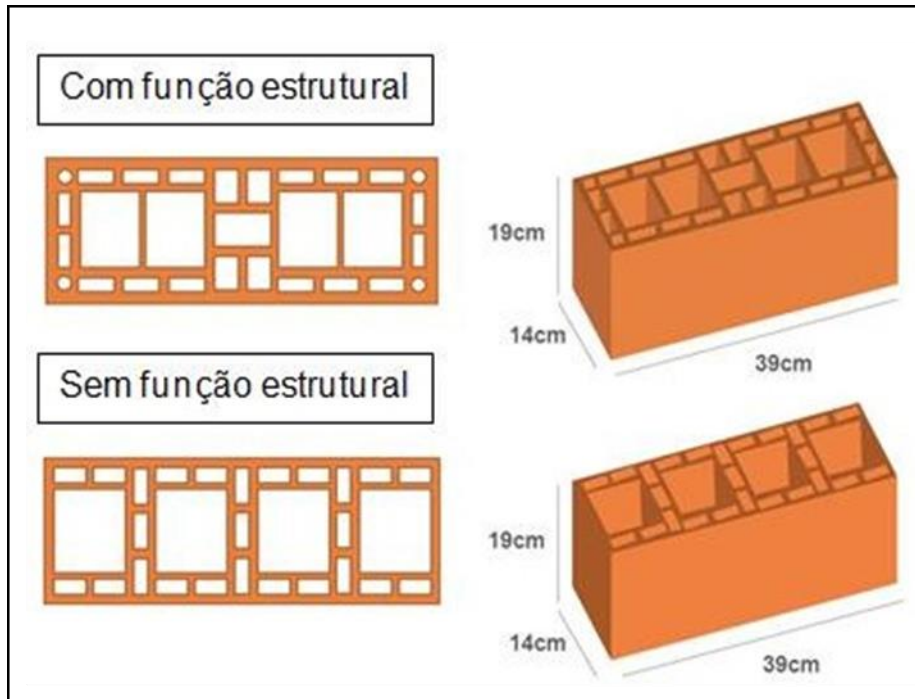
2.1.1 Conceito

De acordo com a norma NBR 6136:2016 (ABNT, 2016), bloco é definido como um componente de alvenaria cuja área líquida é igual ou inferior a 75% da área bruta, existindo grande variedade de blocos utilizados em paredes de alvenaria, sendo os mais usuais blocos de concreto e bloco cerâmico, podendo ser blocos com função estrutural ou sem função estrutural, a Figura 2 ilustra as diferenças físicas entre os blocos

2.1.2 Blocos na engenharia civil

Existe uma grande variedade de blocos utilizados na alvenaria estrutural, sendo os mais usuais o bloco de concreto e o bloco cerâmico, podendo ser blocos estruturais ou blocos para vedação (Figura 2).

Figura 2 - Diferenças entre bloco estrutural e vedação.



Fonte: Netto, 2015 (adaptada).

✓ Blocos sem função estrutural

O bloco sem função estrutural é utilizado apenas para vedação do espaço, sendo responsável por suportar apenas cargas como o peso próprio e pequenas cargas que serão instaladas na parede (armários, lavatórios) e, geralmente, são instalados com seus furos na posição horizontal.

✓ Blocos estruturais

Os blocos estruturais podem exercer a função de vedação do espaço, porém também são utilizados com função estrutural, podendo substituir elementos estruturais como pilares e vigas que segundo RAMALHO E CORRÊA (2003) os blocos estruturais são os elementos mais importantes para resistência à compressão da alvenaria. Os blocos estruturais são utilizados com seus furos na posição vertical podendo ser de material cerâmico ou de concreto.

✓ **Bloco de concreto**

Os blocos de concreto estruturais tiveram sua origem em 1832, após o surgimento do cimento Portland em 1824, desde então vem tomando uma fatia expressiva do mercado, devido a sua qualidade e sua capacidade de ser reproduzido com diferentes resistências, de acordo com a necessidade.

Os blocos de concreto são classificados em grupos denominados famílias, onde se alteram as dimensões dos blocos, sendo três grupos: família 09, família 14, e família 19. E também são definidos em classes segundo a NBR 6136 (ABNT, 2016) conforme apresentado na Tabela 1.

- Classe A $\geq 8,0$ MPa, com função estrutural, para uso em elementos de alvenaria acima ou abaixo do nível do solo.
- Classe B $\geq 4,0$ Mpa, com função estrutural, para uso em elementos de alvenaria acima do nível do solo.
- Classe C $\geq 3,00$ MPa, com função estrutural, para uso em elementos de alvenaria acima do nível do solo.

Tabela 1 - Classes dos blocos de concreto estruturais conforme NBR 6136

CLASSES DOS BLOCOS DE CONCRETO ESTRUTURAIS							
Classificação	Classe	Resistência característica a compressão axial (MPa)	Absorção (%)				Retração (%)
			Agregado normal		Agregado leve		
			Individual	Media	Individual	Media	
Com função estrutural	A	$f_{ck} \geq 8,0$	$\leq 9,0$	$\leq 8,0$	$\leq 16,0$	$\leq 13,0$	$\leq 0,065$
	B	$4,0 \leq f_{ck} < 8,0$	$\leq 10,0$	$\leq 9,0$			
Com ou sem função estrutural	C	$f_{ck} \geq 3,0$	$\leq 11,0$	$\leq 10,0$			

Fonte: ABNT, 2016

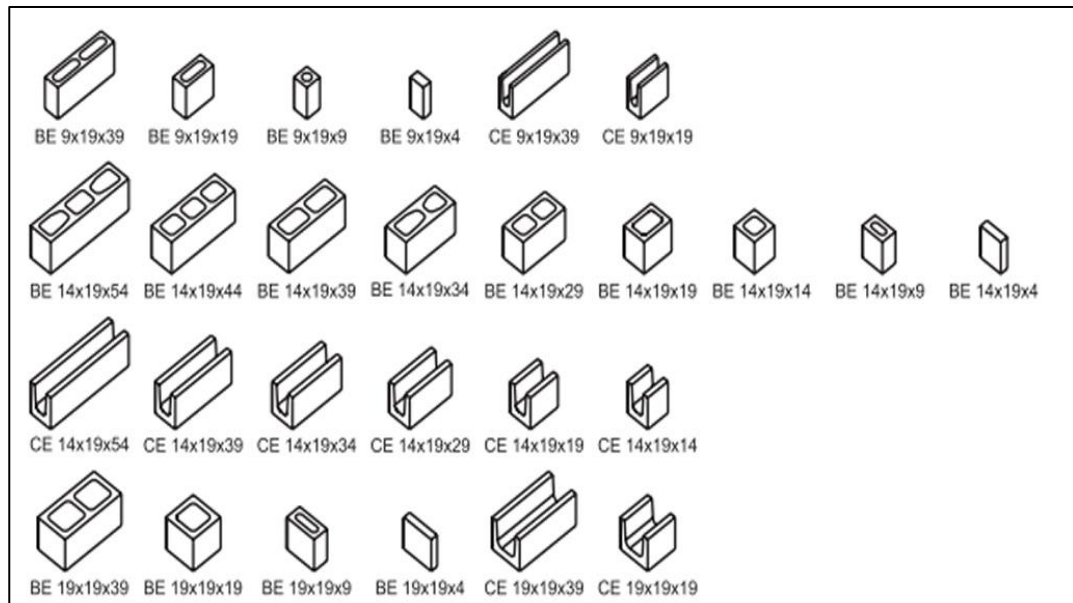
✓ **Bloco cerâmico**

Os blocos cerâmicos são utilizados desde 4000 a.C. pelos romanos, porém presume-se que as alvenarias tenham surgido a mais de quinze mil anos a.C., quando os primeiros seres-humanos precisaram de lugar para se abrigarem. Sua grande utilização deve-se a abundância da principal matéria-prima utilizada em sua composição, a argila. A principal dificuldade, segundo MAZON (2004), é a não

conformidade dos materiais utilizados na confecção dos blocos cerâmicos, que em território brasileiro, chega a 40%.

Os blocos cerâmicos e de concreto também são classificados em grupos conforme as dimensões como ilustrado pela Figura 3.

Figura 3 – Famílias dos blocos



Fonte: PREMAZON, 2018.

2.2 Alvenarias Estruturais

A alvenaria estrutural é o processo de construção em que se utilizam as paredes como estrutura em substituição aos pilares e vigas. A alvenaria estrutural pode ser subdividida em duas classes estruturais:

- Alvenaria não armada: Alvenaria simples, composta apenas por blocos e material ligante, geralmente a argamassa.
- Alvenaria armada: A alvenaria é reforçada por armadura composta de material capaz de resistir aos esforços solicitantes, geralmente utilizado o aço.

Acresce que por dispensar o uso de pilares e vigas, as cargas são aplicadas sobre a alvenaria, que podem ser de blocos cerâmicos estruturais ou de blocos de concretos estruturais. Segundo a NBR 6136 (ABNT, 2016), a resistência mínima de compressão axial é de 4 MPa para os blocos estruturais, ela ainda estabelece diversos

aspectos que variam desde a qualidade do material, até os meios do processo construtivo

Segundo Duarte (1999) as edificações em alvenaria estrutural possuem grande aceitação pelo homem desde os tempos mais antigos, sendo realizadas obras de grande importância com mais de 2000 anos e que ainda estão presentes nos tempos atuais (Figura 4 e Figura 5).

Figura 4 - Muralha da China



Fonte: Lovell, 2006.

Figura 5 - Notre Dame: Paris, França



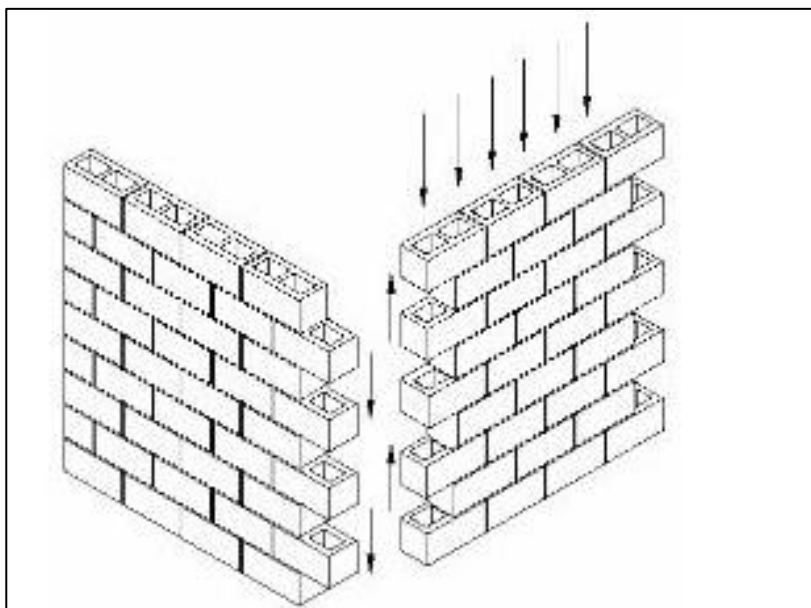
Fonte: Pastorello, 2015.

Com o passar dos anos, a engenharia evoluiu e para se maximizar a produção bem como o desenvolvimento de novas técnicas arquitetônicas, os construtores

adaptaram as técnicas construtivas existentes, saindo de grandes peças de pedras, para peças menores como tijolos e blocos, sendo possivelmente os Assírios os primeiros a utilizarem na construção de fortalezas esse novo processo. Contudo, apenas no século XIX houve o primeiro relato utilizando embasamento teórico e experimental sobre alvenaria, desenvolvido pelo A. Brebner em 1923 e gerando diversas pesquisas sobre a alvenaria estrutural (MULLER, 1989 citado por SILVA, 2003). Na década de 50 foram desenvolvidas normas para execução de obras em alvenaria estrutural, fazendo com que se tornassem mais competitivas (CAMACHO, 2001).

Do mesmo modo segundo Strenzel e Santos (2016) a utilização de alvenaria estrutural está crescendo a cada ano, buscando novas tecnologias a fim de garantir maior conforto para os moradores e melhor desempenho estrutural. Uma das principais características da alvenaria estrutural segundo Barbosa (2017) é o fato das cargas atuarem diretamente sobre as paredes e sua carga ser distribuída de forma uniforme. Para garantir uma distribuição uniforme do carregamento são adotados detalhes construtivos a fim de que haja interação entre as paredes quando submetidas a carregamento verticais (Figura 6).

Figura 6 - Interação das paredes quando se aplica carregamento vertical



Fonte: Adaptado de Silva, 2003.

2.3 Argamassa

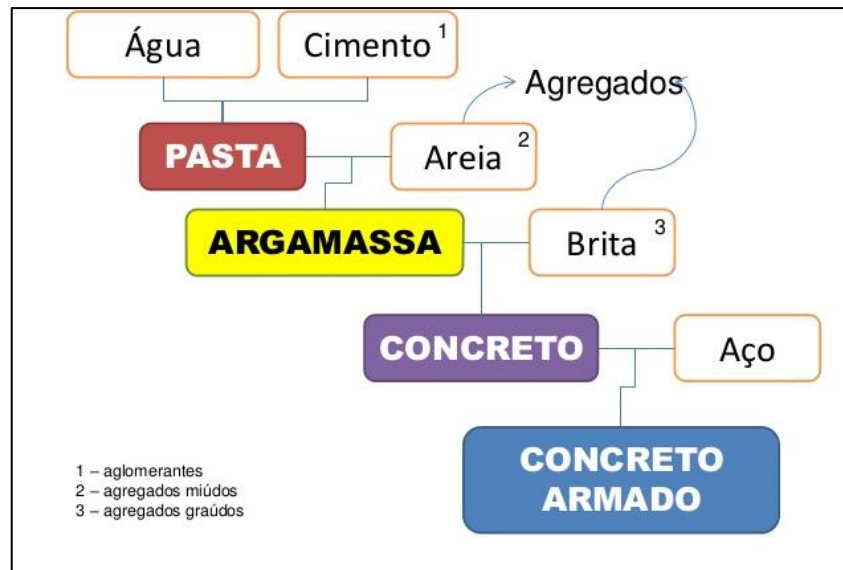
De acordo com a ABNT NBR 13281:2005: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos (ABNT, 2005), a definição de De acordo com a NBR 13281(ABNT, 2005) Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos, a definição de argamassa é “mistura homogênea de agregado(s) miúdo(s), aglomerante(s) inorgânico(s) e água, contendo ou não aditivos ou adições, com propriedades de aderência e endurecimento, podendo ser dosada em obra ou em instalação própria (argamassa industrializada)”.

Inicialmente Pinto e Gomes (2006) relatam que a utilização da argamassa vem desde o período neolítico, cerca de 7000 anos a.C., que os primeiros materiais ligantes utilizados foram a argila e o calcário, que reagem em contato com a água. Com o surgimento da revolução industrial em meados do século XIX e o surgimento do cimento Portland em 1824, os materiais ligantes – argamassas – sofreram grandes modificações. Até então a cal e o gesso eram os principais materiais, sendo utilizados nas civilizações egípcias, gregas, etruscas e romanas (BORGES, 2012). Esses materiais foram substituídos de forma progressiva pelo cimento Portland, que se tornava bem competitivo, que, devido a revolução industrial, apresentava menor preço.

Acresce que a argamassa é utilizada basicamente em todas as estruturas de edifícios, porém mesmo sendo bastante utilizada, existem poucas preocupações em relação a elas, como: a falta de consideração do tempo de utilização e pouca preocupação com a relação água/cimento (a/c). Em obra, o principal aspecto observado na maioria das vezes é apenas a trabalhabilidade. As faltas de preocupações/cuidados geram possíveis manifestações patológicas nas estruturas, sendo que as fissuras são uma das principais. Oliveira (2001) destaca que a qualidade da argamassa está ligada diretamente com a qualidade dos materiais que a constituem e o traço a ser adotado depende do local e função onde será aplicado.

A argamassa é uma mistura da pasta de cimento (água e cimento) com o agregado miúdo (Figura 7), utilizada na alvenaria estrutural e na alvenaria convencional como ponte de transferência de esforços solicitantes para vedação, para melhorar o desempenho térmico e acústico das edificações.

Figura 7 - Elementos utilizados nas argamassas e concreto



Fonte: GRUBBA, 2016.

A argamassa possui diversas utilidades na construção civil, podendo ser classificada em diversos tipos. Contudo, duas formas de aplicação se destacam: a de revestimento e a de assentamento.

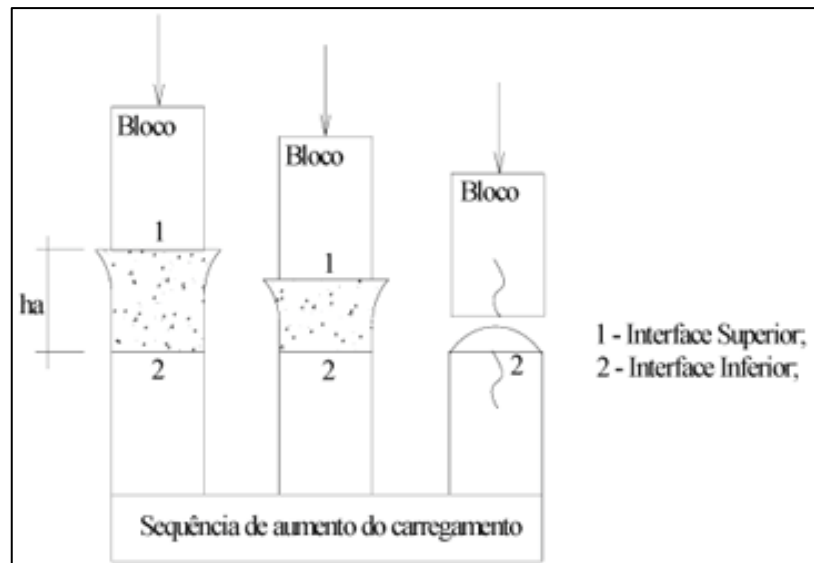
✓ Argamassa de assentamento

A argamassa quando utilizada para assentamento de blocos se comporta como ponte de transferência de esforços na alvenaria estrutural. Segundo Oliveira (2001) a argamassa de assentamento possui quatro principais funções

- Unir a alvenaria e ajudá-las e apresentar resistência a esforços laterais;
- servir como ponte de transferência de esforços por todo o bloco;
- possuir capacidade de absorver deformações da alvenaria;
- evitar a penetração de materiais do ambiente externo pelas juntas.

Segundo Oliveira (2009) apesar dos blocos desempenharem as principais funções mecânicas da alvenaria, quando a alvenaria está sujeita a esforços de cisalhamento e tração, as juntas passam a ter grande importância. Sendo relatado por Mohamad et al.(2009) que na forma de junta, a argamassa fica sujeita a um estado triaxial de tensões devido ao confinamento lateral e o bloco a um estado biaxial de tensões o que provoca o surgimento de fissuras por esforços de tração sendo ilustrada na Figura 8.

Figura 8 - Fissuração dos blocos



Fonte: Mohamad (2009)

✓ Argamassa de revestimento

Segundo Oliveira (2001) a argamassa de revestimento tem como principal função o acabamento estético da construção. Porém, ainda possui funções do ponto de vista de segurança e trabalhabilidade. Suas principais funções são:

- Garantir a baixa impermeabilidade da parede;
- deve apresentar estabilidade mecânica, e resistência ao fogo.

✓ Retração na argamassa

Segundo Yuan (2003) a fissuração é causada principalmente pela retração da argamassa, sendo relatado por Mcdonald et. al. (2002) que as principais causas da retração se devem à baixa resistência à tração e módulo de elasticidade. Essas propriedades foram avaliadas por Medeiros (2002), que procurou formas de aumentá-las através da diminuição da relação a/c e a utilização de polímeros na matriz.

2.4 Materiais compósitos

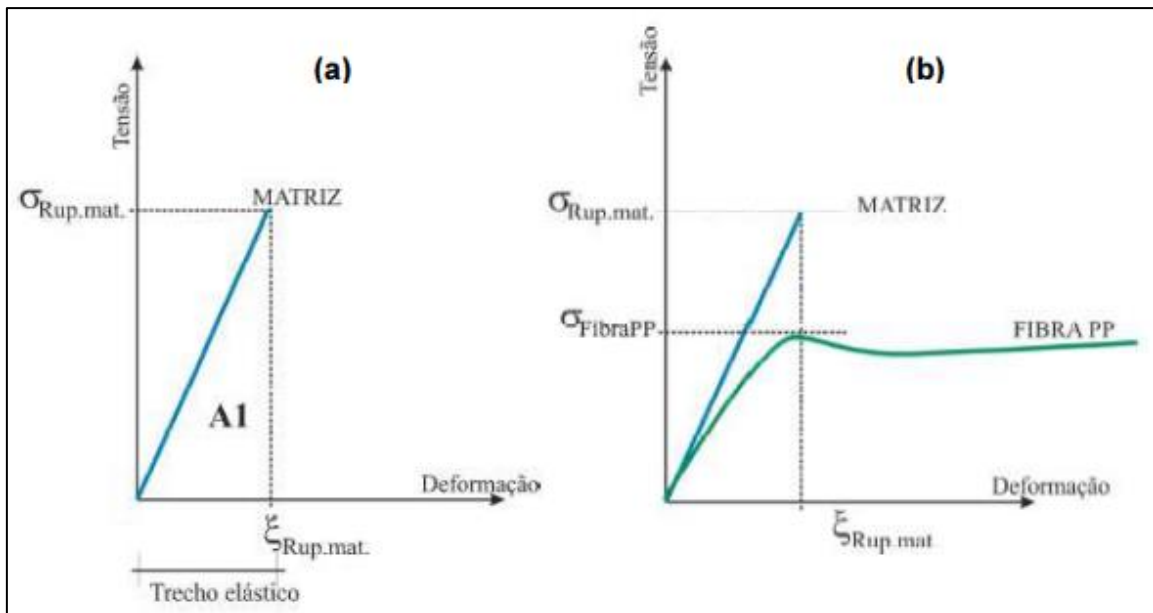
Segundo Pardal (2019) materiais compósitos são materiais constituídos da mistura de dois ou mais materiais que não podem ser solúveis entre si. Um dos produtos é considerado a matriz, que terá com função proteger o reforço. A função do reforço é conferir melhores características ao compósito, características estas que dependem do tipo de compósito formado.

Por analogia, segundo Oliveira (2001) materiais compósitos pode ser definido como a mistura de dois ou mais materiais diferentes que juntos formam um novo material que possui resistência superior aos materiais que deram origem. Então maioria dos compósitos é composta por uma matriz (concreto, argamassa e outros) e um elemento de reforço como exemplo, às fibras.

Segundo Coelho (2011) não se sabe ao certo qual foi à primeira utilização de materiais compósitos na construção civil, porém, já eram utilizados no antigo Egito tijolos de uma mistura de barro e palha, formando o adobe. Dentre o histórico das fibras, a fibra de vidro foi o primeiro material a ser fabricado como reforço para atuar no compósito. A adição de fibras tinha como objetivo que as estruturas resistissem a altas temperaturas, devido às necessidades nos campos de batalhas, no decorrer da segunda guerra mundial em 1939.

Assim analisando o trabalho de Figueiredo (2000) citado por Silva (2006), onde foi relacionada uma matriz de cimento sem adição de fibras, e outra matriz de cimento com adição de fibras de polipropileno, foi verificada que o compósito absorveu características do elemento de reforço, modificando a estrutura da matriz que era frágil, apresentando maior ductilidade sendo ilustrado na Figura 9.

Figura 9 - Perfil da curva



(a) matriz sem fibras, (b) matriz com fibras de polipropileno.

Fonte: SILVA, 2006.

2.5 Aplicação das fibras na construção civil

Segundo Junior (2007) a origem da utilização de fibras na construção civil possui mais de 4500 anos, quando os egípcios as utilizavam para confecção de blocos, juntamente com a argila e o lodo do rio Nilo, conforme ilustrado na Figura 10.

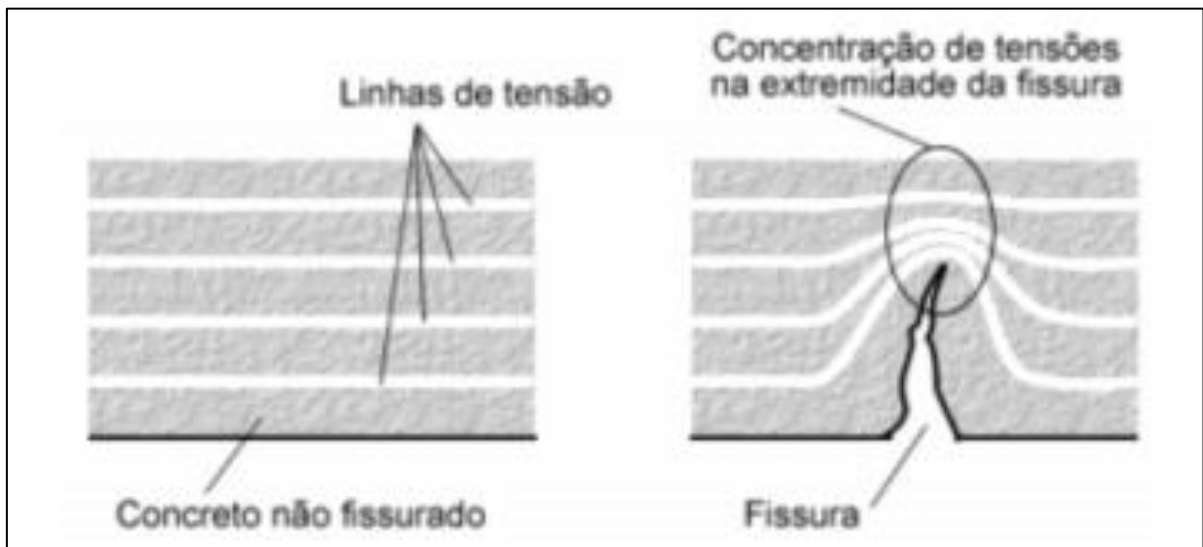
Figura 10 - Utilização de fibras na fabricação de blocos.



Fonte: O autor, 2018.

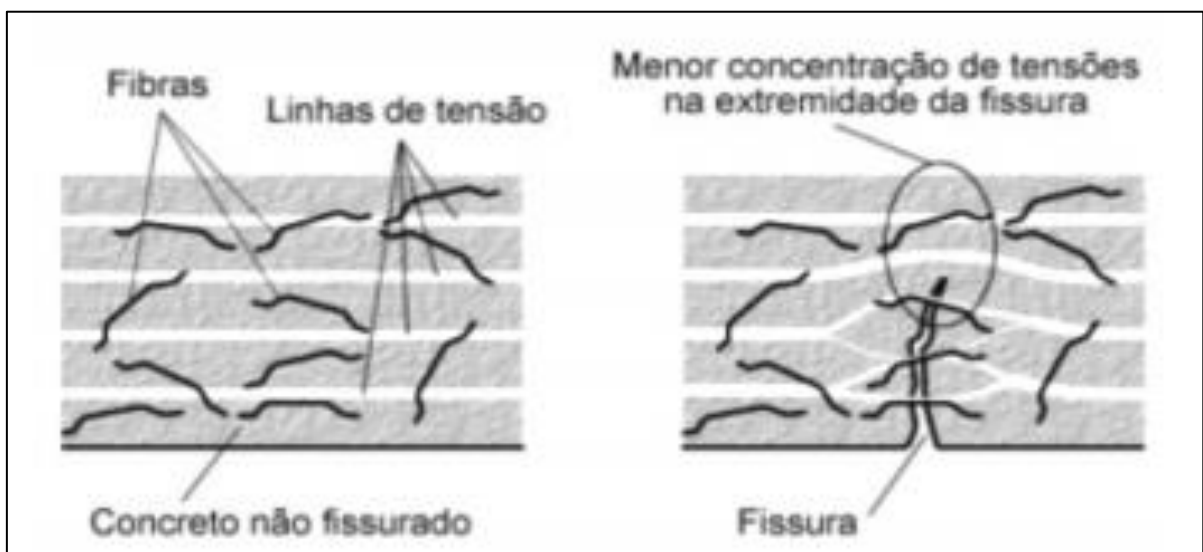
Sabe-se que os compósitos cimentícios possuem baixa resistência à tração e baixa capacidade para suprir fratura. Essas deficiências são tradicionalmente superadas com o acréscimo de barras de aço no concreto, por exemplo, certas manifestações patológicas estão ligadas à argamassa, tornam a utilização de fibras uma alternativa, por atuarem nas deficiências do compósito. Segundo Singh et al. (2004), a diminuição das fissuras em materiais cimentícios utilizando fibras é devido à melhor distribuição de tensões, conforme ilustrado na Figura 11 e na Figura 12:

Figura 11 - Concentração de tensões em compósitos cimentícios sem fibras



Fonte: Barros, 2009 (adaptada).

Figura 12 - Concentração de tensões em compósitos cimentícios reforçado com fibras.



Fonte: Barros, 2009 (adaptada).

Observa-se, a partir das figuras 11 e 12 que no compósito cimentícios, quando não se utiliza fibras, torna-se mais agravante o efeito “ponta” caracterizado pela grande concentração de tensões em um ponto. Este efeito pode ser minimizado com a adição de fibras verifica-se a dissipação das tensões existentes o que minimiza o processo de fissuração.

Atualmente, existe grande diversidade de fibras no mercado (Figura 13) porém as mais utilizadas, segundo Cominol, Failla e Plizzari (2007) são as fibras de aço, representando 50% do total utilizada, fibras de polipropileno com 20%, fibras de vidro (5%) e outras fibras (25%).

Figura 13 - Diferentes tipos de fibras



Fonte: AOKI, 2010.

2.6 Fibras de polipropileno

As fibras de polipropileno são filamentos fibrilados, finos e alongados, produzidos por um sistema de extrusão. Outrossim, as fibras de polipropileno são polímeros compostos de moléculas longas e de elevada massa molar (OLIVEIRA, 2001). Essas características, segundo Taylor citado por Oliveira (2001), são favoráveis para o acréscimo da resistência mecânica, proporcionada ao se acrescentar as fibras de polipropileno na argamassa.

A fibra de polipropileno é a segunda fibra mais utilizada na construção civil. É uma fibra sintética, não oxida, nem absorve água. Possui algumas características, como: melhorar a retração do concreto e redução do efeito Spalling (CIFUENTES et al. 2013). A quantidade utilizada de fibras em uma dosagem de concreto é muito pequena comparada ao volume total, porém, o acréscimo de fibras promove melhorias nas propriedades mecânicas (KAKOEI et al. 2012). Existem diversos modelos de fibras de polipropileno, sendo as mais usuais, segundo Kumar (2013), as de monofilamento, de multifilamento e fibriladas (em formas de filme podendo ser utilizadas em formas de rede), conforme ilustrado na Figura 14.

Figura 14 - Tipos de fibras de polipropileno.



Fonte: SUPRENANT, 1999.

A diferença entre os três principais tipos de fibras de polipropileno está em que a de monofilamento e a de multifilamento são produzidas pelo processo de extrusão, sendo que o de monofilamento é fabricado em filamento único, e a de multifilamento é a combinação de vários filamentos; já as fibriladas são confeccionadas em formas de filme podendo ser expandidas em redes abertas. (KUMAR 2013)

Oliveira (2001) destaca como uma das principais características da fibra de polipropileno, a não absorção de água na produção de compósitos, e devido ao seu grande módulo de elasticidade que varia entre 4,0 GPa a 15, 0 GPa, Tanesi e Agopyan (1997) afirmam que este alto módulo de elasticidade é importante devido á maior

solidez e no combate a fissuras. Oliveira (2001) destaca como principal vantagem da fibra de polipropileno a resistência aos ataques químicos em meios alcalinos, porém, também é ressaltado a sua deficiência se colocada em altas temperaturas (acima de 170 °C elas se fundem). (CASTRO, TIBA, PANDOLFELLI 2011)

2.7 Fibras na argamassa

A grande variedade de produtos no mercado da construção civil, objetivando aumento significativo da produtividade e de melhorias da construção, além de diminuição de resíduos, tem feito o mercado de fibras ganhar seu espaço no mercado, aumentando significativamente seu consumo na produção do concreto e da argamassa.

Segundo Fahad e Hamza(2016) a argamassa, quando não são utilizadas fibras, sofre encolhimento ou mudanças de volume, originando fissuras. Diversos estudos comprovaram o melhor funcionamento da argamassa utilizada na alvenaria estrutural. De acordo com Oliveira (2001) as fibras proporcionaram melhor coesão e consistência da argamassa e também favorecem a redução de fissuração por retração plástica (SANJUAN; MORAGUES,1997).

2.8 Fibras de polipropileno na argamassa

Segundo Suprenant (1999) a utilização de fibras de polipropileno como adição na argamassa tem a função de micro reforço tridimensional, proporcionando aumento da resistência à tração e diminuição da exsudação. Segundo Oliveira (2001) as principais vantagens das fibras de polipropileno, quando utilizadas em compósitos, estão relacionadas com sua composição, pois elas não estão sujeitas a corrosão, fazendo com que as características da fibra não se modifiquem durante a vida útil.

Ainda segundo Oliveira (2001) a utilização de fibras poliméricas na argamassa, deve ao seu baixo custo e suas propriedades físicas, relatando aumento nas propriedades mecânicas (compressão e tração) sendo estes resultados contestado por Amaral Junior, et al. (2017) que em seus experimentos afirmaram não terem obtido aumento significativo na resistência à compressão.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo sobre o tema demonstra a necessidade de análises sobre o uso de fibras no processo de minimização das fissuras nos blocos causadas pela expansão da argamassa. Foi confeccionado a argamassa utilizando o traço de 1;0,5;4,5 a/c=0,6 por ser uma argamassa alterada, havendo o acréscimo de fibras, sendo necessário fazer que a resistência de cálculo da argamassa fosse inferior que a resistência do bloco, foram confeccionados vinte prismas utilizando 3 blocos de concreto estrutural, doze prismas de argamassa de 4x4x16 cm³, doze corpos de prova cilíndricos de argamassa com dimensões 5x10cm³, 24 corpos de provas retangulares de argamassa oriundos dos prismas

3.1 Materiais

Para realização do estudo experimental serão utilizados os materiais descritos a seguir.

3.1.1 Cimento

O cimento utilizado foi o cimento CII E-32, que possui características como o baixo calor de hidratação, que diminui a ocorrência de trincas e fissuras. É o cimento mais comumente utilizado em concreto e argamassa. Os ensaios utilizados para a caracterização do cimento são:

- Massa específica segundo NBR 16605:2017: Cimento Portland e outros materiais em pó — Determinação da massa específica (ABNT, 2017).
- Índice de finura segundo NBR 11579: Cimento Portland - Determinação do índice de finura por meio da peneira 75 µm (ABNT, 2012).

3.1.2 Cal hidratada

A cal utilizada foi a cal hidratada tipo CH I, da empresa ICAL. A cal foi adicionada por garantir melhor plasticidade e trabalhabilidade da argamassa e principalmente por reduzir problemas com fissuração por retração. O ensaio utilizado para caracterização da cal é:

- Massa específica segundo NBR 16605:2017: Cimento Portland e outros materiais em pó — Determinação da massa específica (ABNT, 2017).

3.1.3 Areia Lavada

A areia a ser utilizada será areia lavada (é realizada a lavagem sobre peneiras para retiradas de materiais indesejáveis). Os ensaios para caracterização da areia são:

- Granulometria segundo NBR 7211: Agregado para concreto - especificação (ABNT, 2009).
- Determinação da massa específica real segundo NBR NM 52:2009 : Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente (ABNT, 2009).
- Massa específica aparente segundo NM 52: Agregado miúdo - Determinação de massa específica e massa específica aparente (AMN, 2009);
- Impurezas orgânicas segundo NM 49: Agregado fino - determinação de impurezas orgânicas (AMN, 2001).
- Materiais pulverulentos segundo NM 46: Agregados - determinação do material fino que passa através da peneira 75 micrometro, por lavagem (AMN, 2003).
- Torrões de argila segundo NBR 7218: Agregados - determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis (ABNT, 2010).

3.1.4 Blocos de concreto

Foi utilizado meio bloco de concreto estrutural tipo C, família 19, sendo escolhido meio bloco por necessitar de uma carga inferior de ruptura da prensa porem mantendo a mesma tensão em comparação à utilização do bloco inteiro. As normas utilizadas para caracterização dos blocos são:

- Requisitos dos blocos segundo NBR 6136:2011: Agregados – Blocos de concretos vazados simples para alvenaria (ABNT, 2011).
- Controle de obras e execução segundo NBR 15961-2: Alvenaria estrutural blocos de concreto

3.1.5 Fibras de polipropileno

Foram utilizadas as fibras de polipropileno de multifilamentos, por promoverem características benéficas ao compósito e, principalmente, por gerar maior durabilidade e versatilidade às estruturas. Uma das suas principais vantagens é a inibição da formação de fissuras geradas pela retração da matriz cimentícia. A caracterização das fibras foi feita conforme a ficha técnica do fabricante e sua utilização foram de acordo com a NBR 15530 (ABNT, 2007).

3.1.6 Argamassa

A argamassa foi confeccionada utilizando os materiais citados anteriormente e foram realizados diversos ensaios para verificação da qualidade da argamassa conforme as normas:

- ABNT NBR 13276:2016: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura e determinação do índice de consistência.
- ABNT NBR 13277:1995: Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos – Determinação da retenção de água.
- ABNT NBR 13278:1995: Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado.
- ABNT NBR 13281:2005: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos.
- ABNT NBR 7200:1998: Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Procedimento.

3.1.7 Capeamento dos blocos

O capeamento realizado foi constituído de cimento e água, originando a pasta de cimento, a norma utilizada: Capeamento de blocos cerâmicos parte 3, NBR 15270-2:2018: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação – Métodos de ensaio.

3.2 Métodos

Foram realizadas análises dos corpos de provas, descartando resultados que não forem compatíveis com o estudo estatístico. Foram construídos gráficos de resistência à compressão, resistência à tração indireta, resistência à tração na flexão, tensãoxdeformação, fissuração na argamassa, fissuração nos blocos, módulo de elasticidade

3.2.1 Determinação do módulo de elasticidade dos prismas

Durante o carregamento de compressão axial foram aplicados incrementos de carga de 200 kgf para obtenção de maiores detalhes, foram instalados suportes para dois relógios comparadores nos prismas, sendo equidistantes a 63mm das bordas superiores e inferiores e possuindo a distância de 54mm entre seus pontos de apoio e as bordas laterais, e utilizada conforme recomendações da NBR 16522 (2016) e com trabalho de Assis (2001).

3.2.2 Determinação da resistência à compressão do prisma

Após a realização do ensaio do módulo de elasticidade, onde irá trabalhar o prisma até 50% da carga de ruptura prevista, foram retirados os relógios comparadores e o prisma levado até o rompimento seguindo NBR 15.961 (ABNT,2011).

3.2.3 Verificação do surgimento de fissuras dos prismas

Para facilitar a identificação do instante de carga da primeira fissura, o prisma foi caiado e durante o ensaio de compressão axial foi tomado nota da carga em que se foi identificada a primeira fissura. Este instante de carga é de grande importância, pois segundo Hendry et al. (2004) as fissuras são causadas por tensões de tração secundária originada da deformação oriunda do confinamento da argamassa nas juntas de assentamento.

3.2.4 Determinação da resistência à tração indireta da argamassa

Para determinação da resistência a tração indireta da argamassa foi seguida as recomendações da NBR 7222 (ABNT,2011) utilizada para corpos de provas de

concreto com as medidas 10x20 cm². Porém os corpos de provas utilizados no experimento de tração indireta possuem suas dimensões de 5x10 cm², sendo necessária a utilização de equipamento suplementar, para conseguir manter os corpos de provas estáveis.

3.2.5 Determinação da resistência à tração na flexão da argamassa

O ensaio para determinar a resistência da argamassa na tração na flexão foi realizado seguindo a NBR 13.279 (ABNT,2005) verificando ao decorrer do ensaio a fase elástica do corpo de prova

3.2.6 Determinação da resistência à compressão axial da argamassa

Após a realização do ensaio de tração na flexão, o corpo de prova se dividiu em dois corpos de provas distintos, esses novos corpos de provas, foram capeados e submetidos à compressão axial, seguindo a NBR 13.279 (ABNT, 2005).

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 Análise e caracterização dos materiais

4.1.1 Cimento

O cimento utilizado foi o cimento Portland CP II E32, com adição de escória. Foi realizado o ensaio de massa específica, utilizando o frasco *Le Chatelier* (Figura 15). Também foram realizados ensaios para determinação do módulo de finura, obtendo os resultados a seguir.

Massa específica real	3,015	g/cm ³
Módulo de finura	3,20	%

Figura 15 – Frasco *Le Chatelier* – Para ensaio para massa específica



Fonte: O autor (2019)

4.1.2 Cal

A cal Hidratada utilizada foi CH-II, sendo realizado o ensaio para o cálculo da massa específica utilizando o mesmo frasco que o da determinação da massa específica do cimento, com resultado descrito a seguir:

Massa específica real 2,46 g/cm³

4.1.3 Fibra de polipropileno

Os dados para caracterização das fibras de polipropileno utilizadas foram cedidos pelo seu representante de vendas, sendo algumas propriedades importantes elencadas a seguir. A quantidade de fibra utilizada seguiu a recomendação do fabricante adotando o traço-reforço. As propriedades e características completas do material são apresentadas no Anexo 1.

Módulo de elasticidade 5 GPa

Resistência à tração 300 MPa

Ponto de Fusão 160 °

4.1.4 Areia natural

A areia utilizada é a areia natural. Foram realizados os ensaios de massa específica, massa unitária, massa unitária úmida, impurezas orgânicas, material pulverulento, e determinada a zona de utilização pelo ensaio de granulometria.

Massa específica real 2,62 g/cm³

Massa unitária aparente 1,29 g/cm³
seca

Massa unitária úmida 1,07 g/cm³

Material pulverulento 1,30 %

Matéria orgânica <300 Ppm

Zona granulométrica Zona utilizável

A Figura 16 ilustra o frasco de Chapman utilizado para obtenção da massa específica da areia.

Figura 16 - Frasco de Chapman para determinação da massa específica da areia.



Fonte: O autor, 2019

Na Figura 17 ilustra-se o material utilizado para o ensaio da massa unitária aparente seca e massa unitária úmida da areia. Pela figura também é possível observar o fenômeno do inchamento ocorrido na areia ao se acrescentar água, onde o volume final (areia+água) é maior que o volume inicial (areia seca), resultando, em uma maior massa da massa unitária aparente seca se comparada com a massa unitária úmida.

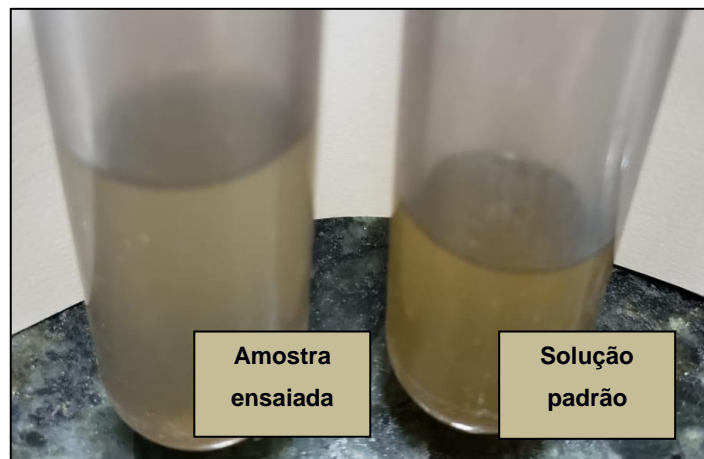
Figura 17 - Material utilizado para os ensaios na areia seca e úmida.



Fonte: O autor, 2019

O ensaio de matéria orgânica é um ensaio visual. Na Figura 18 pode-se observar que a solução padrão está mais escura que a solução onde foi testada. Como resultado, a classificação da areia conforme o colorímetro é a 1, a areia possui quantidades aceitáveis de impurezas orgânicas.

Figura 18 - Verificação da presença de impureza orgânica.



Fonte: O autor 2019

O resultado do ensaio de granulometria da areia está apresentado na Tabela 2 e na Figura 19. Esse gráfico da figura correlaciona o ensaio realizado com os limites

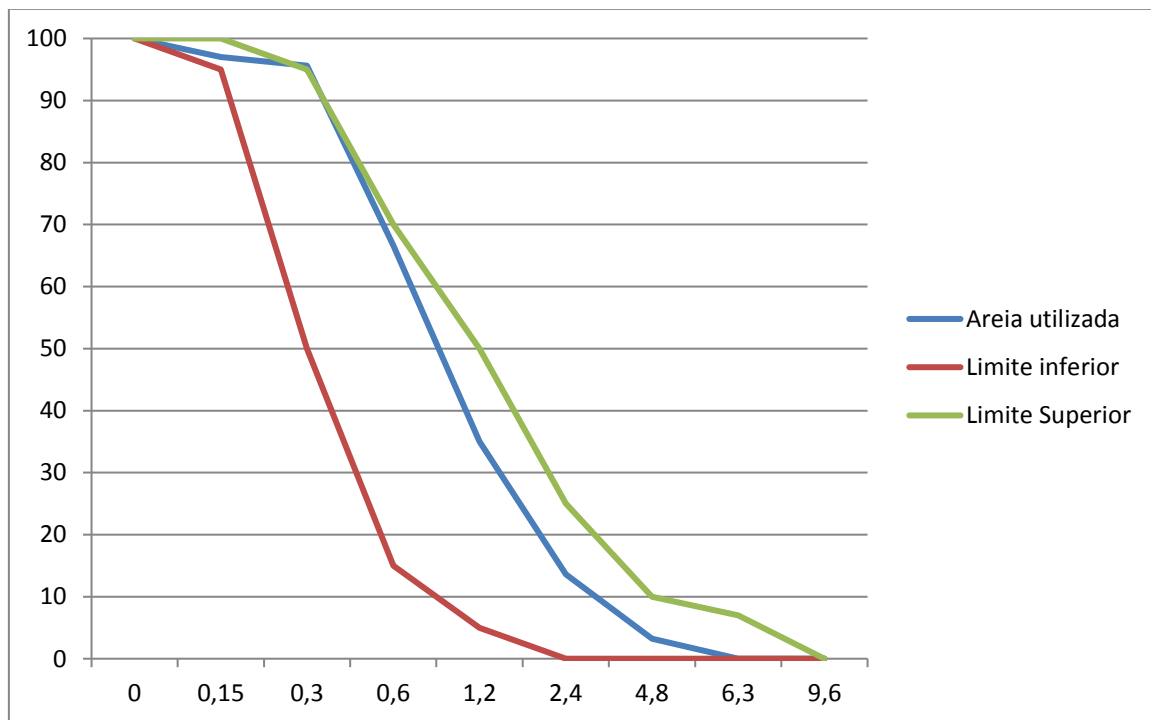
prescritos na NBR 7211 (ABNT, 2009), (Tabela 3). O resultado (separação) após o ensaio de granulometria é mostrado na Figura 20.

Tabela 2 - Resultado da granulometria da areia zona utilizável.

GRANULOMETRIA DA AREIA					
Peneira (Abertura em mm)	Peso retido	Porcentagem retida	Porcentagem acumulada	Limite inferior	Limite superior
9,6	0	0	0	0	0
6,3	0	0	0	0	7
4,8	32	3,2	3,2	0	10
2,4	104	10,4	13,6	0	25
1,2	214	21,4	35	5	50
0,6	316	31,6	66,6	15	70
0,3	290	29	95,6	50	95
0,15	14	1,4	97	95	100
Fundo	30	3	100	100	100

Fonte: O autor, 2019.

Figura 19 - Zona granulométrica da areia



Fonte: O autor, 2019.

Tabela 3 - Limites inferiores e superiores

LIMITES DA DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO AGREGADO MIÚDO				
Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISO 3310-1)	Porcentagem, em massa, retida acumulada			
	Limites inferiores		Limites superiores	
	Zona utilizável	Zona ótima	Zona ótima	Zona utilizável
9,5 mm	0	0	0	0
6,3 mm	0	0	0	7
4,75 mm	0	0	5	10
2,36 mm	0	10	20	25
1,18 mm	5	20	30	50
600 μm	15	35	55	70
300 μm	50	65	85	95
150 μm	85	90	95	100

NOTAS

1 O módulo de finura da zona ótima varia de 2,20 a 2,90.

2 O módulo de finura da zona utilizável inferior varia de 1,55 a 2,20.

3 O módulo de finura da zona utilizável superior varia de 2,90 a 3,50.

Fonte: ABNT NBR 7211, 2009

Figura 20 - Separação granulométrica da areia.



Fonte: O autor, 2019

Pelas informações da Tabela 2 foi possível calcular o módulo de finura – 3,11 –, também foi possível obter o diâmetro máximo da areia – 4,8 mm –, classificando a areia utilizada como areia grossa. Além disso, no gráfico da Figura 19, verifica-se a zona granulométrica utilizável da NBR 7211 (ABNT, 2009) demarcando o limite inferior em vermelho e o limite superior em verde. A areia utilizada no experimento ficou entre as duas linhas, dentro da faixa granulométrica estabelecida pela norma. Portanto, a areia escolhida pode ser utilizada como agregado miúdo do experimento.

4.1.5 Argamassa

Na Figura 21 é mostrado o ensaio do índice de consistência realizado na argamassa sem utilização de fibras, sendo as leituras realizadas nas argamassas sem e com adição de fibras de polipropileno, demonstradas na Tabela 4.

Figura 21 - Ensaio do limite de consistência



Fonte: O autor, 2019.

Tabela 4 - Leituras realizadas nas argamassas

LEITURA DO ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA				
	1	2	3	Consistência média (mm)
Sem fibras	277,24	298,36	288,88	288
Com fibras	244,87	239,88	232,94	242

Fonte: o autor, 2019.

Conforme demonstrado na Tabela 4 e segundo Oliveira (2001), o acréscimo de fibras de polipropileno melhora a coesão e consistência da argamassa, otimizando a capacidade de retenção da mistura homogênea, sem segregação de materiais. Seguindo o preconizado pela NBR 13276 (ABNT, 2016), foram realizadas as três medidas em cada corpo de prova. A consistência é a média dos valores arredondados para o número inteiro mais próximo.

Na Tabela 5 é mostrada a massa específica das argamassas sem e com adição de fibras. Já a Tabela 6 é utilizada para classificar as argamassas segundo a sua massa específica.

Tabela 5 – Massa Específica das argamassas testadas com e sem fibras

LEITURA DA DENSIDADE DA ARGAMASSA			
	Volume do molde (g/cm³)	Massa (g)	Densidade (kg/ m³)
Sem fibras	400	716	1790
Com fibras	400	694	1735

Fonte: O autor, 2019.

Tabela 6 - Classificação em estado fresco segundo a sua massa específica.

CLASSIFICAÇÃO DA DENSIDADE DA ARGAMASSA NO ESTADO FRESCO		
Classe	Densidade de massa no estado fresco (kg/m³)	Método de ensaio
D1	≤ 1400	ABNT NBR 13.278
D2	1200 a 1600	
D3	1400 a 1800	
D4	1600 a 2000	
D5	1800 a 2000	
D6	≥ 2000	

Fonte: ABNT, 2016.

Comparando as duas argamassas, a massa específica da argamassa com fibras de polipropileno teve redução de 3,17% em relação à argamassa sem fibras. De acordo com Martins e Soares (2016), essa diminuição na densidade se deve ao fato da fibra de polipropileno apresentar baixa densidade. A argamassa em estado fresco pode ser classificada em classes diferentes de acordo com NBR 13278 (ABNT, 2016) e citada na NBR 13281 (ABNT, 2005). Ambas as argamassas utilizadas neste trabalho (sem e com fibras) foram classificadas como D4.

De acordo com Carasek (2007) a argamassa pode ser classificada em apenas três diferentes classes, conforme a Tabela 7.

Tabela 7 - Classificação da argamassa em estado fresco.

CLASSIFICAÇÃO DA ARGAMASSA – ESTADO SECO	
Argamassa(A)	Densidade (Kg/ m3)
Leve	A<1400
Normal	1400<A<2300
Pesada	A>2300

Fonte: CARASEK, 2007(adaptada).

Com relação a classificação de Carasek (2007), a argamassa sem adição de fibras e a argamassa com adição de fibras seriam classificadas como argamassa normal.

A Tabela 8 demonstra a classificação da argamassa de acordo com sua capacidade de retenção de água, sendo os resultados obtidos com os ensaios mostrados na Tabela 9.

Tabela 8 - Classificação da argamassa de acordo com a retenção de água.

CLASSIFICAÇÃO DA RETENÇÃO DE ÁGUA DA ARGAMASSA		
Classe	Retenção de água (%)	Método de ensaio
U1	≤ 78	ABNT NBR 13.277
U2	72 a 85	
U3	80 a 90	
U4	86 a 94	
U5	91 a 97	
U6	95 a 100	

Fonte: ABNT, 2016.

Tabela 9 - Retenção de água das argamassas.

RETENÇÃO DE ÁGUA NA ARGAMASSA	
Tipo	Porcentagem (%)
Sem fibras	86
Com fibras	89

Fonte: O autor, 2019.

Oliveira (2001) ressalta que a utilização de fibras de polipropileno na argamassa apresenta melhoras na retenção de água. Nos corpos de provas ensaiadas, como demonstradas na Tabela 8, as duas argamassas foram classificadas como U4, de 86% a 94% de retenção, da NBR 12377 (ABNT, 2005). Entretanto, a argamassa com fibras obteve maior retenção de água quando comparada com a argamassa sem adição de fibras, um acréscimo de 3,49%. A maior retenção de água da argamassa com fibras deve-se ao fato das fibras proporcionarem melhor coesão e consistência na argamassa, inibindo a exsudação e segregação dos componentes da mistura homogênea. Correlacionando a retenção de água com o surgimento de fissuras, à maior retenção de água reduz a retração e conseqüentemente reduz o surgimento de microfissuras.

4.1.6 Blocos de concreto estrutural

A Figura 22 mostra os blocos capeados, onde uma pasta fina, composta de cimento e água, foi colocada na superfície dos blocos, regularizando as imperfeições e otimizando a distribuição da carga aplicada. O capeamento foi feito em ambos os lados dos blocos (topo e base) e foi realizada a ruptura de quatorze blocos de concreto. A tensão de ruptura dos blocos está apresentada na Tabela 10, cuja tensão média obtida foi de 8,03 MPa (área bruta) e 11,94 MPa considerando a área líquida.

Figura 22 – Ensaio de compressão axial/blocos com a superfície regularizada



Fonte: O autor, 2019

Tabela 10 - Resultado da ruptura dos blocos de concreto.

TENSÕES DE RUPTURA DOS BLOCOS DE CONCRETO		
Carga (N)	Tensão considerando a área bruta (MPa)	Tensão considerando a área líquida (MPa)
14400	8,42	12,52
13200	7,72	11,48
13600	7,95	11,83
14800	8,65	12,87
13900	8,13	12,09
12800	7,49	11,13
12400	7,25	10,78
14200	8,30	12,35
14500	8,48	12,61
13800	8,07	12,00
14600	8,54	12,70
13500	7,89	11,74
12800	7,49	11,13
13700	8,01	11,91
Média	8,03	11,94

Fonte: O autor, 2019.

Os blocos em ambos os casos, considerando sua área bruta ou considerando a área líquida (retirando o septo) alcançaram resultados satisfatórios quanto à resistência à compressão, não havendo nenhum bloco abaixo do limite mínimo de rejeição para baixa propriedade mecânica à compressão, de 4,5 MPa.

Todos os blocos testados atingiram os requisitos estabelecidos na NBR 6136 (ABNT, 2016) quanto a sua resistência a compressão axial não havendo nenhum bloco com resistência inferior a 4 MPa, sendo utilizada a fórmula da NBR 15270-2 (ABNT, 2005) para se determinar a resistência característica a compressão estimada do conjunto de blocos ($f_{bk,est}$) obteve-se o valor do $f_{bk,est} < f_{bm}$ (Média das resistência a compressão dos corpos de provas) se encaixando no critério (b) da NBR 15270-2 (ABNT, 2017) que considera o valor de f_{bk} dos blocos o resultado da equação Ø (Tabela 11) x $f_{b(1)}$ sendo o resultado 7,25 Mpa, o f_{bk} , é calculado através da Equação (1).

$$f_{bk,est} = 2 \left[\frac{f_{b(1)} + f_{b(2)} + \dots + f_{b(i-1)}}{i-1} \right] - f_{bi} \quad (1)$$

Em que:

$f_{bk,est}$ = resistência característica estimada da amostra, em megapascals;

$f_{b(1)}, f_{b(2)}, \dots, f_{bi}$ = valores de resistência à compressão individual dos corpos-de-prova da amostra, ordenados crescentemente;

$i = n/2$, se n for par;

Tabela 11 - Valores de ϕ em função da quantidade de blocos

VALORES DE ϕ EM FUNÇÃO DA QUANTIDADE DE BLOCOS												
Quantidade de blocos	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	<18
ϕ	0,89	0,91	0,93	0,94	0,96	0,97	0,98	0,99	1	1,01	1,02	1,04

Fonte: ABNT, 2017.

Na Figura 23 e mostrada a construção dos prismas: foram assentados três blocos com duas camadas de argamassa entre eles, sendo que os blocos das extremidades (superior e inferior) eram capeados. Posteriormente, os prismas foram revestidos com cal para facilitar a identificação das fissuras.

Figura 23 - Confeção dos prismas



Fonte: O autor, 2019.

4.1.7 Ensaio de compressão axial na argamassa

O ensaio de resistência à compressão axial foi realizado nas idades de 7 e 56 dias, a Equação 2 e Equação 3, proposta pela NBR 6118 (ABNT, 2014) e *FIB MODEL CODE* (2010) respectivamente, foram utilizadas para o cálculo na idade de 28 dias. Ao todo foram utilizados 24 corpos de provas para os experimentos, sendo 12 corpos de provas do tipo padrão, sem adição de fibras e 12 com adição de fibras. Os ensaios aos 7 dias foram executados em 6 corpos de prova de cada tipo, e aos 56 dias nos 6 de cada tipo restantes.

$$f_{cd} = \exp \left\{ s \left[1 - \left(\sqrt{\frac{28}{t}} \right)^{1/2} \right] \right\} \times f_{ck} \quad (2)$$

Em que:

s= coeficiente de crescimento da resistência em função do tipo de cimento utilizado

t = idade do concreto em dias

f_{cd} = resistência de cálculo à compressão do concreto

O fator s é definido de acordo com o tipo de cimento utilizado, sendo:

- 0,25 para cimento CP-I e CP-II
- 0,38 para cimento CP-III e CP-IV
- 0,20 para cimento CP-V (ARI)

$$E_{cj} = \left\{ \exp \left[s \times \left(1 - \sqrt{\frac{28}{t}} \right) \right] \right\}^{1/2} \times E_{c28} \quad (3)$$

Em que:

E_{cj} = módulo de elasticidade do concreto na idade de j dias

s= coeficiente de crescimento da resistência em função do tipo de cimento utilizado

t = idade do concreto em dias

E_{c28} = módulo de elasticidade do concreto na idade de 28 dias

O fator s é definido de acordo com o tipo de cimento utilizado, sendo:

- 0,25 para cimento CP-I e CP-II
- 0,38 para cimento CP-III e CP-IV
- 0,20 para cimento CP-V (ARI),

Neste trabalho foi utilizado o CP-II E32 com adição de escória, portanto, o valor do fator s foi de 0,25. Na Tabela 12 são apresentados os resultados para a resistência à compressão dos corpos de prova ensaiados aos 7 e 56 dias, e o resultado para o cálculo da Equação 3.

Tabela 12 - Ruptura dos corpos de provas de argamassa na compressão axial.

TENSÕES DE RUPTURA POR COMPRESSÃO AXIAL (MPa)									
Sem fibras	Nº	7 dias	28 dias	56 dias	Com fibras	Nº	7 dias	28 dias	56 dias
		1	2,92	2,81		2,92		1	2,94
	2	2,98	3,80	3,95		2	2,88	3,53	3,67
	3	2,94	4,23	4,40		3	2,84	3,56	3,70
	4	2,88	3,46	3,60		4	2,78	3,95	4,11
	5	2,78	3,54	3,68		5	2,96	3,87	4,02
	Média	2,90	3,57	3,71		6	2,98	3,31	3,44
	Desv. Pad.	0,0762	0,5194	0,5410		Média	2,90	3,57	3,72
						Desv. Pad.	0,0774	0,2895	0,3010

Fonte: O autor, 2019.

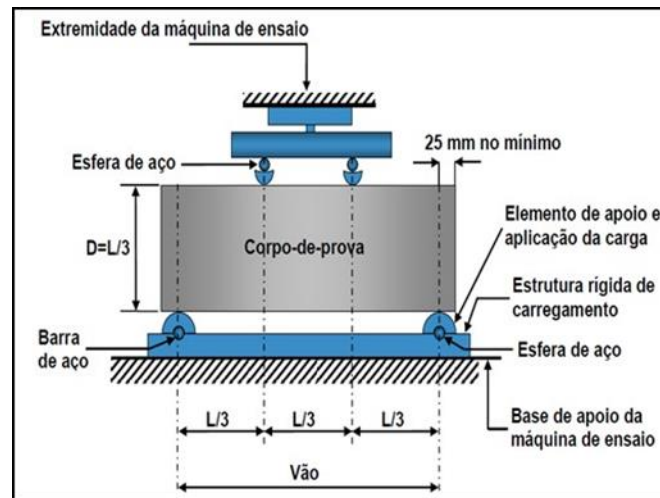
Dos 24 corpos de provas ensaiados, dois corpos de provas sem fibra foram descartados por não atenderem a análise estatística aplicada. Analisando os resultados apresentados na tabela, nota-se que os corpos de provas, com e sem fibras apresentaram aumento de resistência à medida que a idade se tornava maior. Entre as idades de 7 e de 56 dias dos corpos de provas sem adição de fibras de polipropileno houve um aumento de 27,93% enquanto nos corpos de prova com fibras de polipropileno o aumento no mesmo período foi de 28,31%.

Comparando-se os resultados dos dois tipos de corpos de prova (sem fibras e com fibras) ocorre uma pequena variação em torno da média. Aos 7 dias os corpos de prova sem adição de fibras obtiveram a mesma resistência se comparada à argamassa com adição de fibra, porém aos 56 dias a argamassa com adição de fibra estava 0,27% maior. O resultado está de acordo com a literatura, uma vez que diversos estudos abordavam que a adição de fibras de polipropileno não ocasiona aumento expressivos na resistência à compressão axial.

4.1.8 Ensaio de tração na flexão da argamassa

O aparato para execução do ensaio de tração na flexão esta ilustrada na Figura 24 e o experimento foi realizando seguindo a NBR 12142 (ABNT,2010), sendo seus resultados apresentados na Tabela 13. Ao todo foram confeccionados 12 corpos de provas, sendo 6 corpos de provas sem adição de fibras de polipropileno e 6 corpos de provas com adição de fibras com dimensões de 4x4x16 cm³. Os corpos de prova foram rompidos nas idades de 7 e 56 dias e, como no item 4.1.7, foi utilizada a Equação 2 para determinação da resistência a tração na flexão na idade de 28 dias.

Figura 24 - Ensaio de tração na flexão



Fonte: Pavan, 2015.

Tabela 13 - Resultados da resistência à tração na flexão.

TENSÃO DE RUPTURA POR TRAÇÃO NA FLEXÃO (MPa)									
Sem fibras	Nº	7 dias	28 dias	56 dias	Com fibras	Nº	7 dias	28 dias	56 dias
	1	0,29	0,37	0,38		1	0,34	0,42	0,44
2	0,28	0,36	0,37	2	0,38	0,40	0,42		
3	0,29	0,38	0,40	3	0,36	0,42	0,44		
Média		0,29	0,37	0,38	Média		0,36	0,42	0,43
Desv. Pad.		0,0058	0,0100	0,0153	Desv. Pad.		0,0200	0,0115	0,0115

Fonte: O autor, 2019.

Sun (2009) relata em seus experimentos que o acréscimo de fibras de polipropileno ocasiona melhorias na tração indireta e na tração na flexão. Na tabela anterior é possível verificar que existem aumento real nas propriedades mecânicas desde o rompimento aos 7 dias, ao incorporar as fibras de polipropileno. Nas idades iniciais, as fibras possuem maior atuação devido à resistência da argamassa estar na sua fase inicial e também do tipo de cimento utilizado (CP-II E32 com escória). A argamassa com fibras tem aumento de 24,13% na tração na flexão aos 7 dias e aumento de 13,16% aos 56 dias.

Nos corpos de prova com adição de fibras, durante o ensaio de tração na flexão, não chegavam ao colapso, sendo segurados pelas fibras (Figura 25). O mesmo também foi observado por JOHNSON (1980) citado por MEHTA e MONTEIRO (2008) e destaca o aumento de tenacidade do compósito. Os resultados para resistência à tração na flexão foram muito satisfatórios devido ao aumento da tenacidade

proporcionando a não ruptura do corpo de prova, comprovando o aumento da propriedade com a adição das fibras.

Figura 25 - Corpo de prova sustentado pelas fibras.

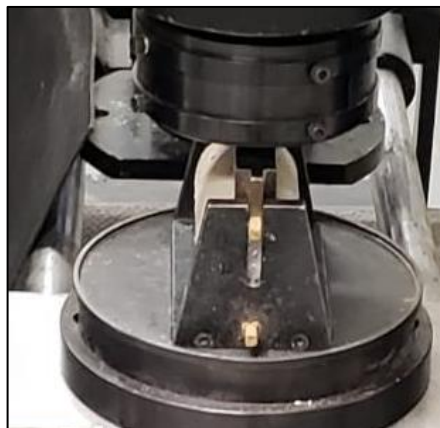


Fonte: O autor, 2019.

4.1.9 Ensaio de tração indireta – Ensaio Lobo Carneiro

O ensaio de tração indireta da argamassa está demonstrado na Figura 26, sendo seus resultados apresentados na Tabela 14. No total, foram confeccionados 12 corpos de provas cilíndricos de dimensões de 5x10 cm³, sendo 6 sem adição de fibras e 6 com adição de fibras. Foi utilizado um equipamento desenvolvido pelo Professor Dr. João Batista Santos de Assis para à execução do ensaio de tração indireta Figura 26. Os ensaios de rompimento foram realizados aos 56 dias e a Equação 2 do item 4.1.7 auxiliou no cálculo para a resistência à tração indireta aos 7 dias e 28 dias.

Figura 26 - Ensaio de tração direta



Fonte: O autor, 2019

Tabela 14 - Resultados dos corpos de prova na tração direta.

TENSÃO DE RUPTURA POR TRAÇÃO INDIRETA (MPa)									
	Nº	7 dias	28 dias	56 dias		Nº	7 dias	28 dias	56 dias
	Sem fibras	1	0,99	1,09		1,13	Com fibras	1	1,36
2		0,89	0,97	1,01	2	1,28		1,39	1,45
3		1,06	1,15	1,20	3	1,46		1,60	1,66
4		0,97	1,06	1,10	4	1,41		1,54	1,6
5		0,81	0,88	0,92	5	1,26		1,38	1,43
Média		0,94	1,03	1,07	Média		1,35	1,48	1,54
Desv. Pad.		0,0963	0,1061	0,1089	Desv. Pad.		0,0847	0,0951	0,0978

Fonte: O autor, 2019

Segundo Oliveira (2001) e Sun (2009) a incorporação de fibras de polipropileno oferece aumento na tração indireta de materiais frágeis. Conforme apresentado na tabela anterior, ocorre o acréscimo de 43,92% na resistência dos corpos de provas com adição de fibras na idade de 56 dias. O mesmo fenômeno ocorrido ao se romper na tração na flexão também foi observado no ensaio de tração indireta: o corpo de prova não chegou à ruptura. Na Figura 27, que retrata um corpo de prova que sofreu ruptura por tração indireta (devido à força externa), é possível observar as fibras de polipropileno espalhadas em toda a superfície do corpo de prova. Também pode-se notar a dissipação das fibras em toda superfície do corpo de prova, além da demonstração da atuação das fibras em segurar algumas partes da argamassa

Figura 27 - Corpo de prova tração indireta

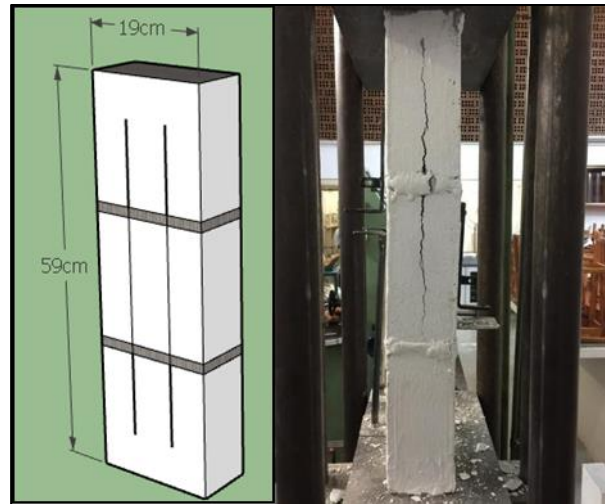


Fonte: O autor, 2019.

4.2 Instante de carga da primeira fissura

Os prismas foram confeccionados com três blocos com altura de 19 cm, ligados por duas camadas de argamassa de 1 cm cada. A configuração dos prismas está ilustrada na Figura 28.

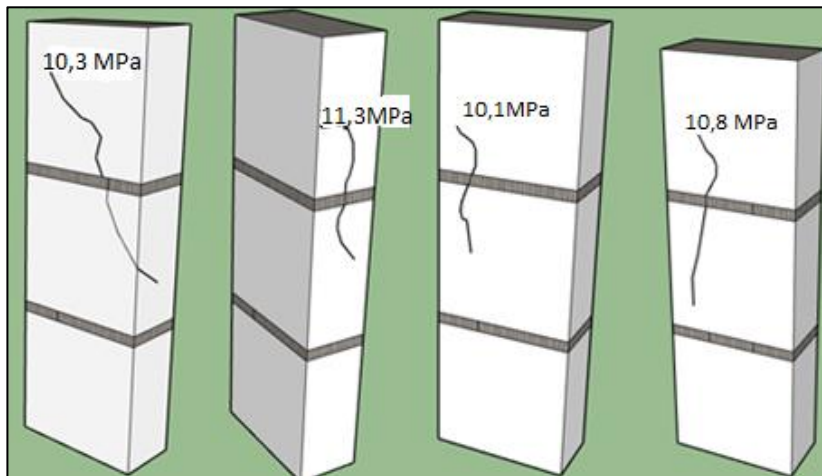
Figura 28 – Modelo do corpo de prova prismático.



Fonte: O autor, 2019

A verificação do instante de carga da primeira fissura dos prismas foi fundamental para quantificar os prismas que sofreram cisalhamento durante o ensaio de resistência à compressão axial. Os prismas foram caiados para melhor visualização das fissuras e assim que a primeira fissura era identificada, também era feita a sua marcação sendo considerada: face frontal, sendo face em que se localizava os dois relógios comparadores equidistantes, a face posterior sendo a face em que se localizava o relógio comparador apenas no bloco central do prisma, o lado esquerdo e direito foram definidos ao se considerar a face frontal como ponto de referência. Dos 20 prismas ensaiados, 8 apresentaram a ruptura antes de se verificar a primeira fissura, uma vez que, à medida que a tensão aproximava à tensão de ruptura (>10 MPa) as medições eram feitas com maior distância por questões de segurança. Na Figura 29 estão ilustradas os prismas em que a argamassa não possuía adição de fibras e que ocorreu o rompimento na idade de 7 dias.

Figura 29 - Instante de carga da primeira fissurados prismas padrão aos 7 dias.



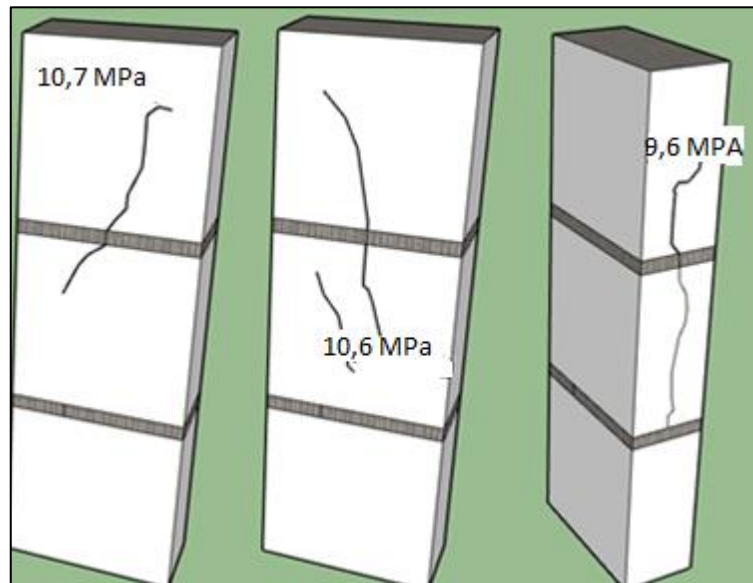
Fonte: O autor, 2019.

No primeiro corpo de prova aconteceu a primeira fissura na tensão de 10,3 MPa e sua ruptura ocorreu na tensão de 11,30 MPa, 9,71% após o instante de carga da primeira fissura. Nesse corpo de prova, foram encontradas fissuras na face frontal que se estendiam pela face lateral esquerda. O segundo corpo de prova atingiu a primeira fissura na tensão de 11,30 MPa e sua ruptura ocorreu na tensão de 12,09 MPa, 6,99% após o instante de carga da primeira fissura. Nesses corpos de provas foram encontradas fissuras na face lateral esquerda.

No terceiro corpo de prova, a primeira fissura apareceu na tensão de 10,10 MPa e sua ruptura ocorreu aos 11,22 MPa, 10% após o instante de carga da primeira fissura. Nesse corpo de prova, foi encontrada fissura na face posterior. Já o quarto corpo de prova atingiu a primeira fissura na tensão de 10,80 MPa e sua ruptura foi na tensão de 11,65 MPa, 7,87% após o instante de carga da primeira fissura, sendo esta encontrada na face frontal. Para o corpo de prova que atingiu a resistência de 12,70 MPa não foram verificadas fissuras antes do rompimento.

A Figura 30 mostra os prismas em que a argamassa não possuía adição de fibras e o rompimento ocorreu na idade de 56 dias.

Figura 30 - Instante de carga da primeira fissurados prismas padrão aos 56 dias.

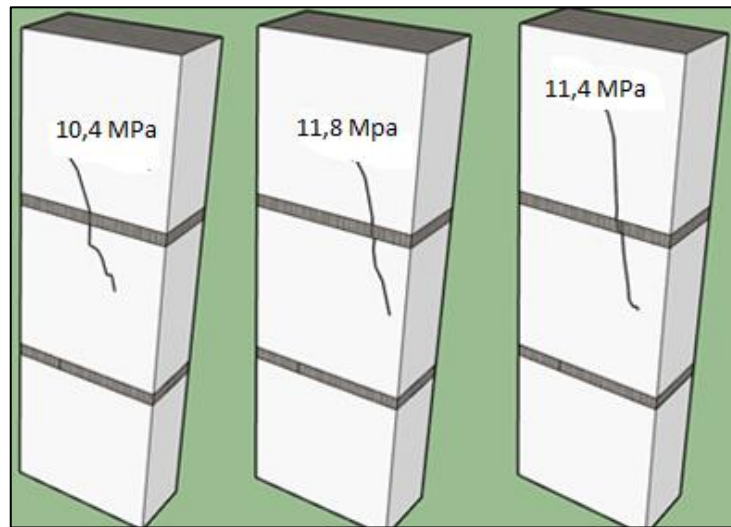


Fonte: O autor, 2019.

No primeiro corpo de prova a primeira fissura ocorreu na tensão de 10,70 MPa e sua ruptura aconteceu na tensão de 11,83 MPa, 10,56% após o instante de carga da primeira fissura, e as fissuras foram encontradas na face frontal. No segundo corpo de prova primeira fissura ocorreu na tensão de 10,60 MPa e sua ruptura aconteceu na tensão de 11,91 MPa, 12,36% após o instante de carga da primeira fissura; foram encontradas duas fissuras na face frontal: uma apenas no bloco do meio e uma que se estendia entre o bloco do meio e o bloco de cima. Já no terceiro corpo de prova a primeira fissura surgiu na tensão de 9,6 MPa e sua ruptura ocorreu na tensão de 10,87 MPa, 13,23% após o instante de carga da primeira fissura; esta encontrada na face lateral esquerda. Para os corpos de prova que atingiram a resistência de 11,13 MPa e 12,43 MPa não foram verificadas fissuras antes do rompimento.

A Figura 31 mostra os prismas em que a argamassa possuía adição de fibras e o rompimento ocorreu na idade de 7 dias.

Figura 31 - Instante de carga da primeira fissurados prismas com fibras aos 7 dias.



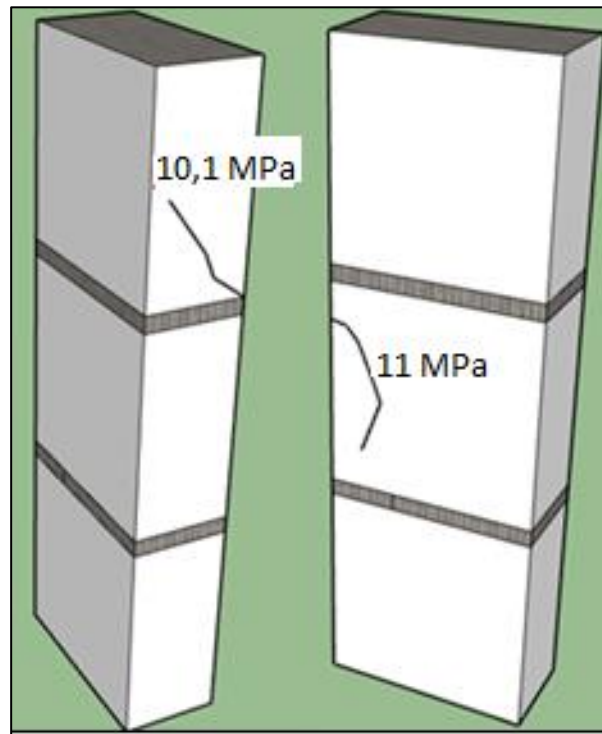
Fonte: O autor, 2019.

No primeiro corpo de prova a primeira fissura aconteceu na tensão de 10,40 MPa, e sua ruptura ocorreu na tensão de 11,13MPa, 7,02% após o instante de carga da primeira fissura, sendo encontradas fissuras na face frontal. O segundo corpo de prova atingiu a primeira fissura na tensão de 11,80 MPa e sua ruptura aconteceu na tensão de 12,70 MPa, 7,63% após o instante de carga da primeira fissura, sendo encontradas fissuras na face frontal.

No terceiro corpo de prova a primeira fissura apareceu na tensão de 11,40 MPa e sua ruptura ocorreu na tensão de 12,00 MPa, 5,26% após o instante de carga da primeira fissura, encontrada a fissura na face posterior. Para os corpos de prova que atingiram a resistência de 12,87 MPa e 11,74 MPa não foram verificadas fissuras antes do rompimento.

A Figura 32 mostra os prismas em que a argamassa possuía adição de fibras e o rompimento ocorreu na idade de 56 dias.

Figura 32 - Instante de carga da primeira fissurados prismas com fibras aos 56 dias



Fonte: O autor, 2019

No primeiro corpo de prova aconteceu a primeira fissura na tensão de 10,1 MPa, e sua ruptura ocorreu na tensão de 11,22 MPa, 11,01% após o instante de carga da primeira fissura, sendo estas encontradas na face lateral esquerda. O segundo corpo de prova atingiu a primeira fissura na tensão de 11,00 MPa e sua ruptura ocorreu na tensão de 12,00 MPa, 9,09% após o instante de carga da primeira fissura, sendo encontradas fissuras na face frontal, no bloco do meio. Para os corpos de prova que atingiram a resistência de 12,52 MPa, 11,91 MPa e 10,70 MPa não foram verificadas fissuras antes do rompimento.

Na Tabela 15 são mostradas as porcentagens de localização das rupturas nos prismas sem adição das fibras de polipropileno.

Tabela 15 - Ruptura dos prismas padrão.

RUPTURA DOS PRISMAS PADRÃO					
Idade	Localização da ruptura				
	Frontal	Posterior	Esquerdo	Direito	Ruptura sem fissuras
7 dias	33,33%	16,67%	33,33%	0	16,67%
56 dias	40,00%	0,00%	20,00%	0,00%	40,00%

Fonte: O autor, 2019.

Correlacionando, nos corpos de prova em que a argamassa não possuía adição de fibras, o instante de carga da primeira fissura aos 7 dias ao de 56 dias pode-se observar que existe um grande aumento nas porcentagens dos corpos de provas que romperam sem demonstrar a primeira fissura, passando de 16,67% para 40%, o que indica um aumento na rigidez do material.

A Tabela 16 mostra as porcentagens de localização das rupturas nos prismas com adição das fibras de polipropileno.

Tabela 16 - Ruptura dos prismas com argamassa que possui adição de fibra de polipropileno.

RUPTURA DOS PRISMAS COM ADIÇÃO DAS FIBRAS					
Idade	Localização da ruptura				
	Frontal	Posterior	Esquerdo	Direito	Ruptura sem fissuras
7 dias	40,00%	20,00%	0,00%	0,00%	40,00%
56 dias	20,00%	0,00%	20,00%	0,00%	60,00%

Fonte: O autor, 2019.

Correlacionando, nos corpos de provas em que a argamassa possuía adição de fibras, o instante de carga da primeira fissura da idade de 7 dias ao de 56 dias, nota-se que existiu 20% de aumento nos prismas que romperam sem indicar a fissura, indicando aumento na rigidez.

O comparativo do instante de carga da primeira fissura nos corpos de prova dos dois tipos, sem e com fibras, são mostrados na Tabela 17.

Tabela 17 - Comparativo do instante de carga da primeira fissurados prismas.

COMPARATIVO DO INSTANTE DE CARGA DA PRIMEIRA FISSURA						
Tipo	Localização					
	Idade	Frontal	Posterior	Esquerdo	Direito	Ruptura sem fissuras
Com fibras	7 dias	40,00%	20,00%	0,00%	0,00%	40,00%
	56 dias	20,00%	0,00%	20,00%	0,00%	60,00%
Sem fibras (padrão)	7 dias	33,33%	16,67%	33,33%	0	16,67%
	56 dias	40,00%	0,00%	20,00%	0,00%	40,00%

Fonte: O autor, 2019.

Relacionando os rompimentos pode-se observar que os prismas padrão obtiveram fissuras em três lados e, que ao se adicionar fibras na argamassa, apenas dois lados foram fissurados. É importante ressaltar a diferença entre o instante de

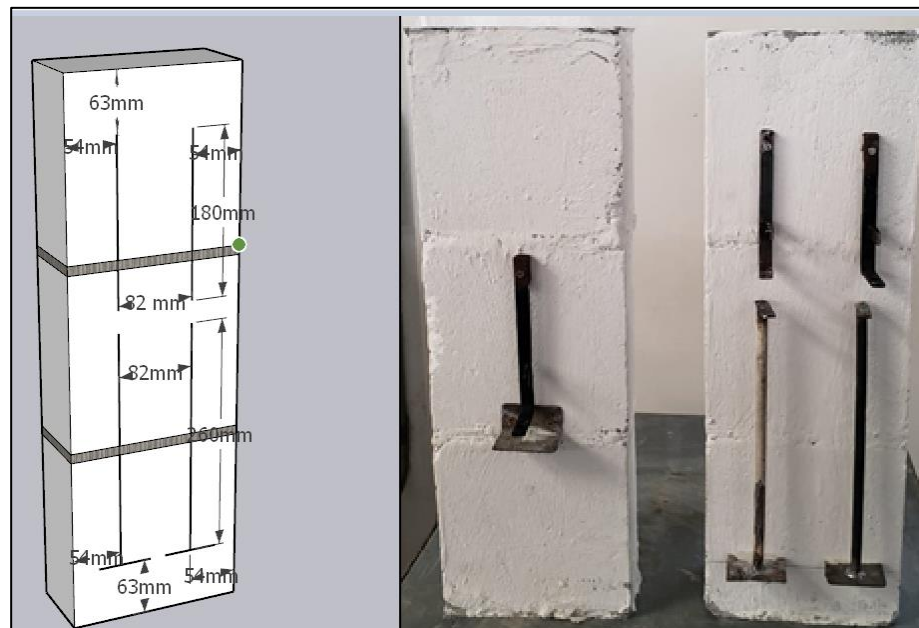
carga da primeira fissura e instante de carga da ruptura; como demonstrado, a diferença entre o instante de carga da primeira fissura e a ruptura dos prismas padrão é superior aos prismas da argamassa com adição de fibras, o que indica a capacidade das fibras de suportarem esforços de tração ocasionados pela argamassa, fazendo com que ocorra uma diminuição no número de fissuras.

Ambos os resultados obtiveram acréscimo no número de corpos de provas que se romperam após a primeira fissura e os prismas padrão novamente possuíram a maior diferença entre o instante de carga da primeira fissura e o rompimento dos prismas em comparação aos prismas com adição de fibras.

4.2.1 Ensaio do módulo de elasticidade

Para o ensaio do módulo de elasticidade foram testados 20 prismas, cada prisma contendo três blocos de concreto estrutural e realizadas 24 leituras de cada prisma. Cada leitura foi efetuada no intervalo de 300 kgf até atingir 7200 kgf que estão apresentadas nos apêndices de A a H. Para efetuar as leituras foram fixados três peças em cada prisma (Figura 33), sendo duas destas para leitura de todo o prisma e uma para leitura apenas do bloco.

Figura 33 - Dispositivo instalado para afixar os relógios comparadores.

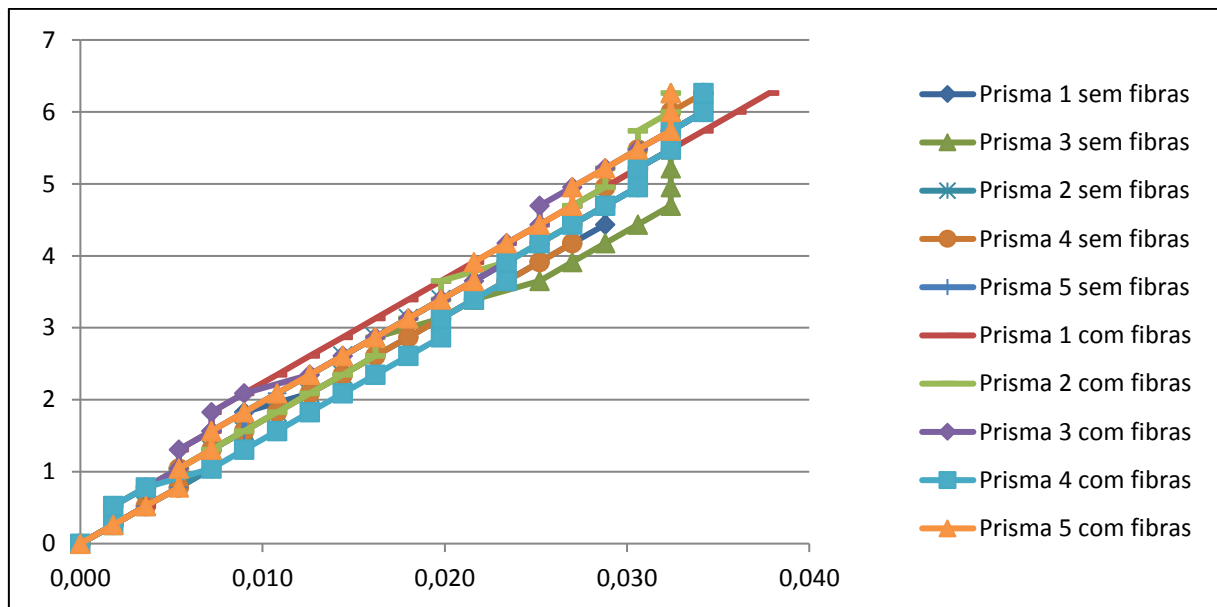


Fonte: O autor, 2019.

Para os corpos de prova foram realizadas a análise estatística da média, desvio padrão e variância, com um coeficiente de variação de 3,97%. Nos Gráficos de 1 a 8 são mostradas a tensão versus deformação das idades de 7 a 56 dias, assim como as comparações entre os corpos de prova sem e com fibras.

No Gráfico 1 é ilustrado o comportamento de dez prismas ensaiados na idade de 7 dias. Cinco das amostras eram do tipo sem adição de fibras e cinco com adição de fibras. Todos os prismas foram submetidos a carga de 6,26 MPa considerando a área líquida.

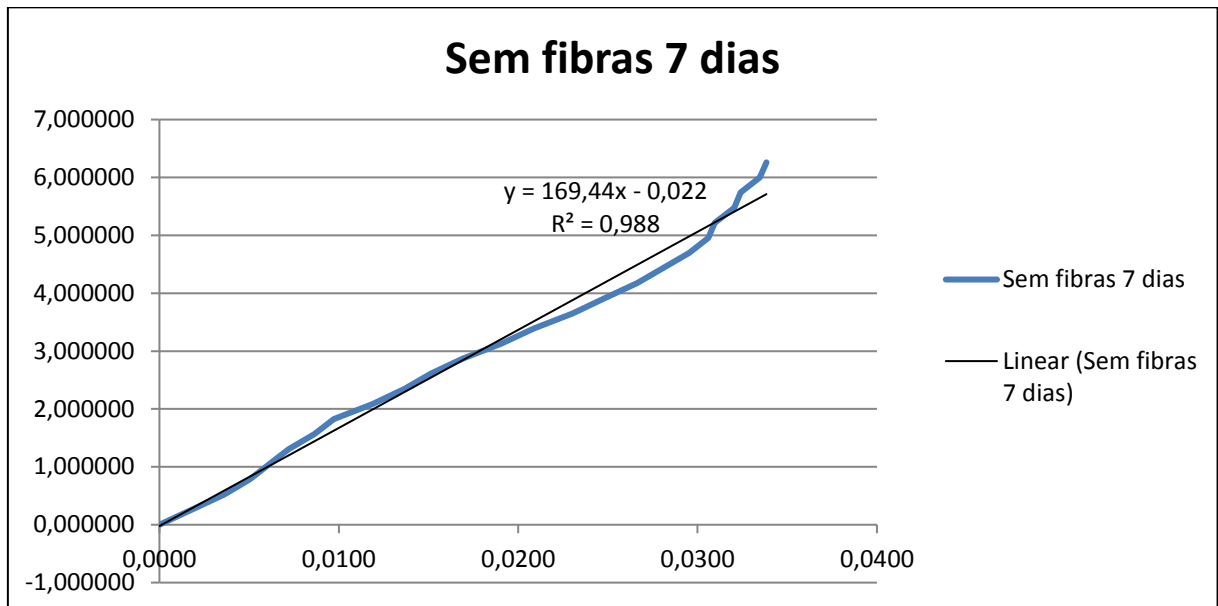
Gráfico 1 - TensãoxDeformação aos 7 dias dos prismas.



Fonte: O autor, 2019.

Analisando os resultados, foi verificada a redução de 4,96% na deformação média dos prismas em que foram utilizadas as fibras de polipropileno, sendo este um indicativo da influência das fibras em suportar os esforços de tração. O Gráfico 2 apresenta a linha de tendência média dos prismas sem fibras do Gráfico 1.

Gráfico 2 - linha de tendência média dos prismas sem fibras aos 7 dias.

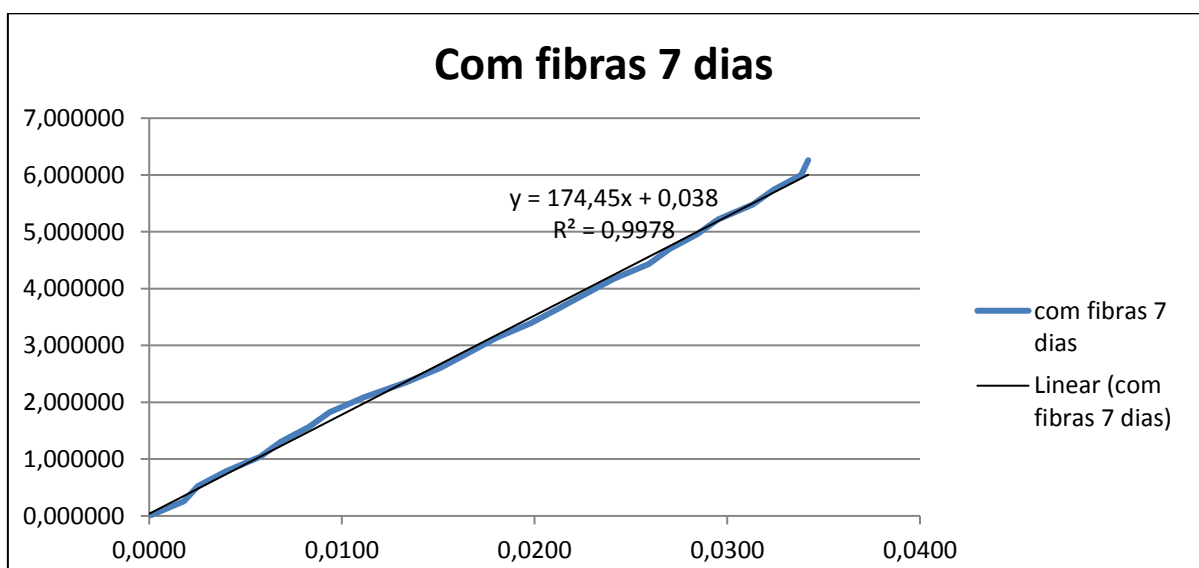


Fonte: O autor, 2019.

Nota-se que durante quase todo o percurso os pontos registrados seguiram de forma linear apresentado o erro quadrático de 0,9888 – próximo a 1 – demonstrando a precisão dos resultados.

O Gráfico 3 apresenta a linha de tendência dos prismas com fibras do Gráfico 1.

Gráfico 3 - de linha de tendência média dos prismas com fibras aos 7 dias.

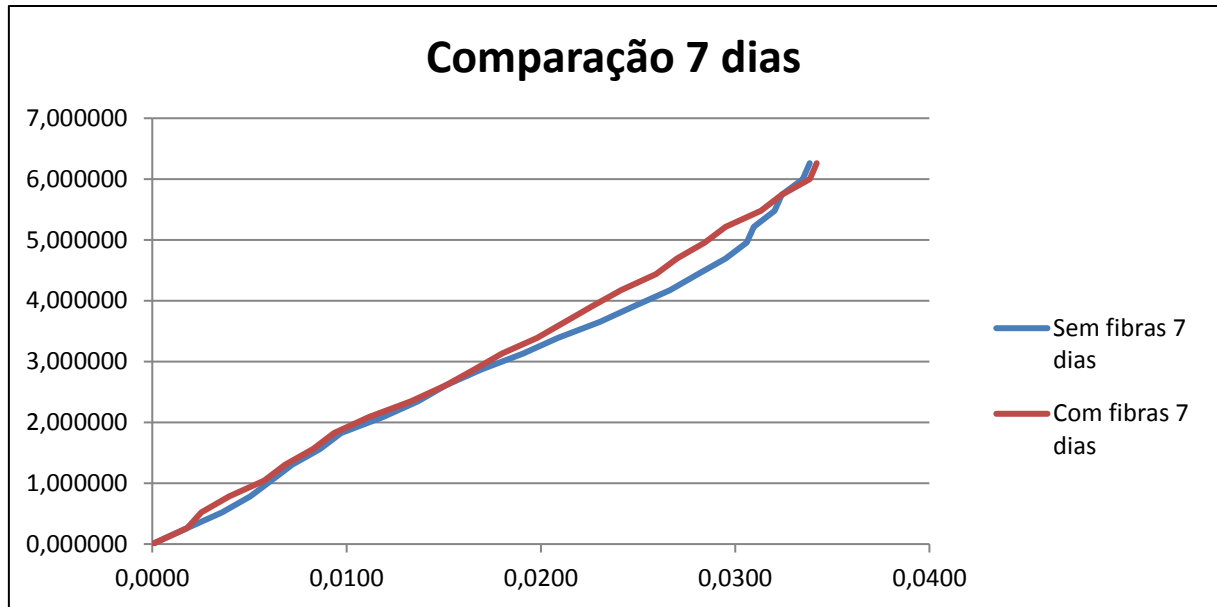


Fonte: O autor, 2019.

Nota-se que os pontos registrados seguiram de forma linear apresentado o erro quadrático de 0,9978 – próximo a 1 – demonstrando a precisão dos resultados.

No Gráfico 4 são apresentados os resultados médios de comparação dos prismas sem adição de fibras e com adição de fibras.

Gráfico 4 - Comparação da TensaoxDeformação média aos 7 dias dos prismas.

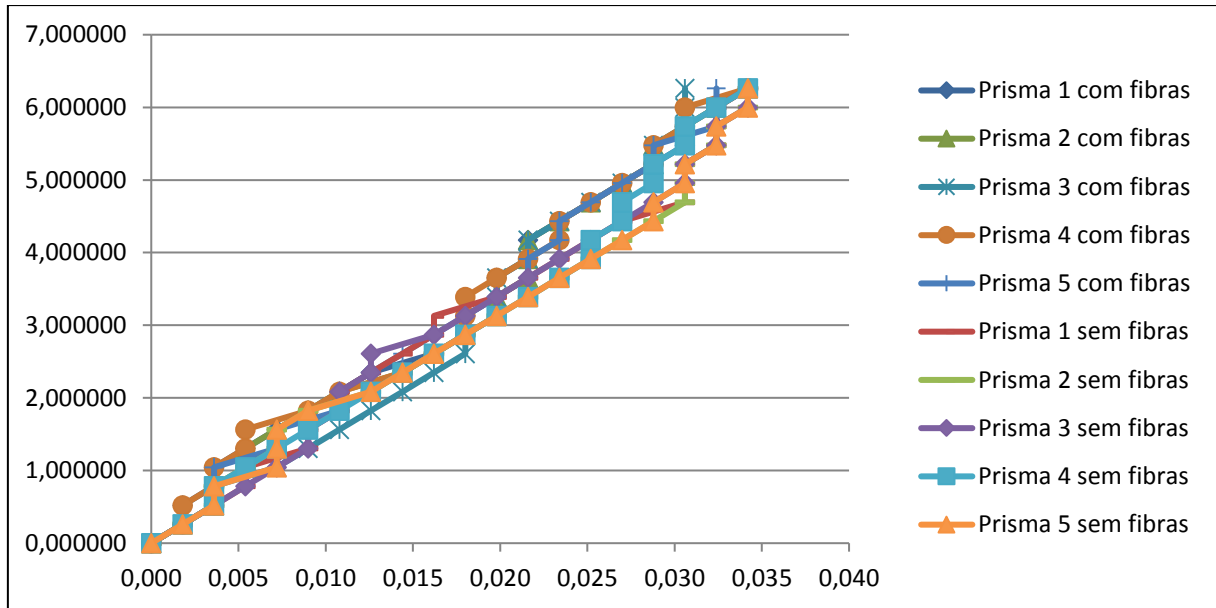


Fonte: O autor, 2019.

Ao se analisar o Gráfico 4, em primeiro momento, pode-se notar a linearidade das médias amostrais, que ocorre devido à Lei de Hooke. Analisando os prismas, a influência da adição de fibras torna-se clara, uma vez que reagindo à mesma tensão os prismas com adição de fibras apresentaram menor deformação. Os resultados com acréscimo de fibras sofrem em média 5,04% menos deformação que o corpo de prova padrão, demonstrando a capacidade das fibras de distribuírem melhor os esforços, aliviando regiões onde existe o acúmulo de tensões.

No Gráfico 5 é ilustrado o comportamento de dez prismas ensaiados na idade de 56 dias. Cinco dos corpos de prova eram do tipo sem adição de fibras e cinco com adição de fibras

Gráfico 5 - TensãoxDeformação aos 56 dias dos prismas.

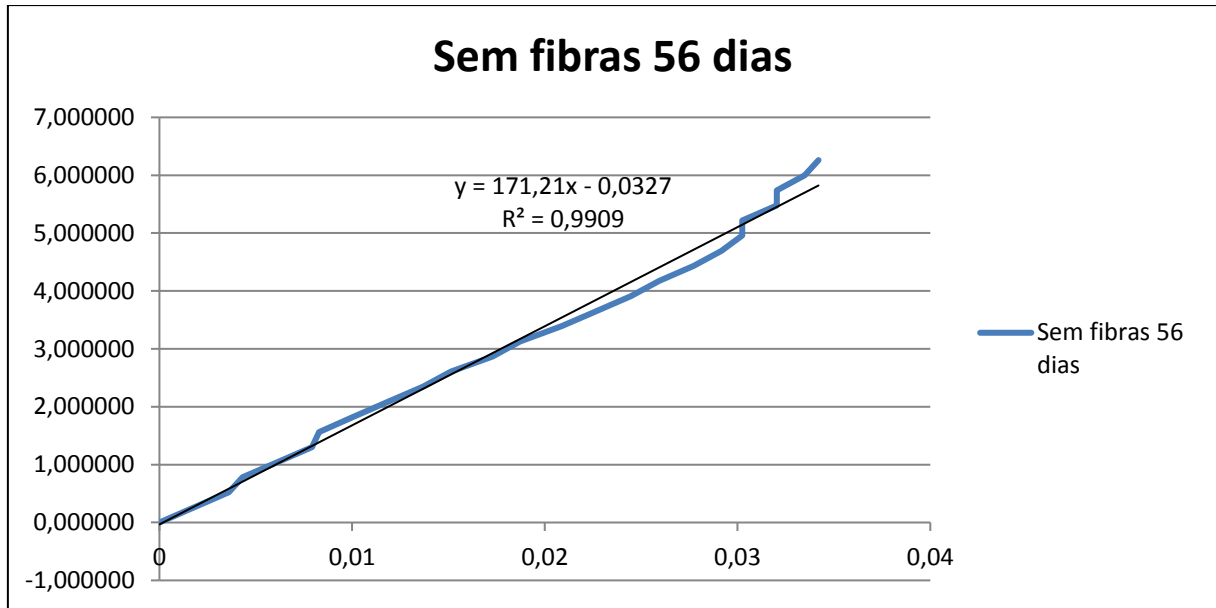


Fonte: O autor, 2019.

Analisando o Gráfico 5, os deslocamento das amostras foram menores com os observados aos 7 dias (Gráfico 1), indicando a maior rigidez da estrutura. Os corpos de prova com adição de fibras apresentaram deslocamentos 7,73% inferiores aos corpos de prova sem adição fibras, o que indica a capacidade das fibras de conterem os esforços de tração ocasionados pela expansão da argamassa.

O Gráfico 6 apresenta a linha de tendência dos prismas com fibras do Gráfico 5.

Gráfico 6 - linha de tendência média dos prismas sem fibras aos 56 dias.

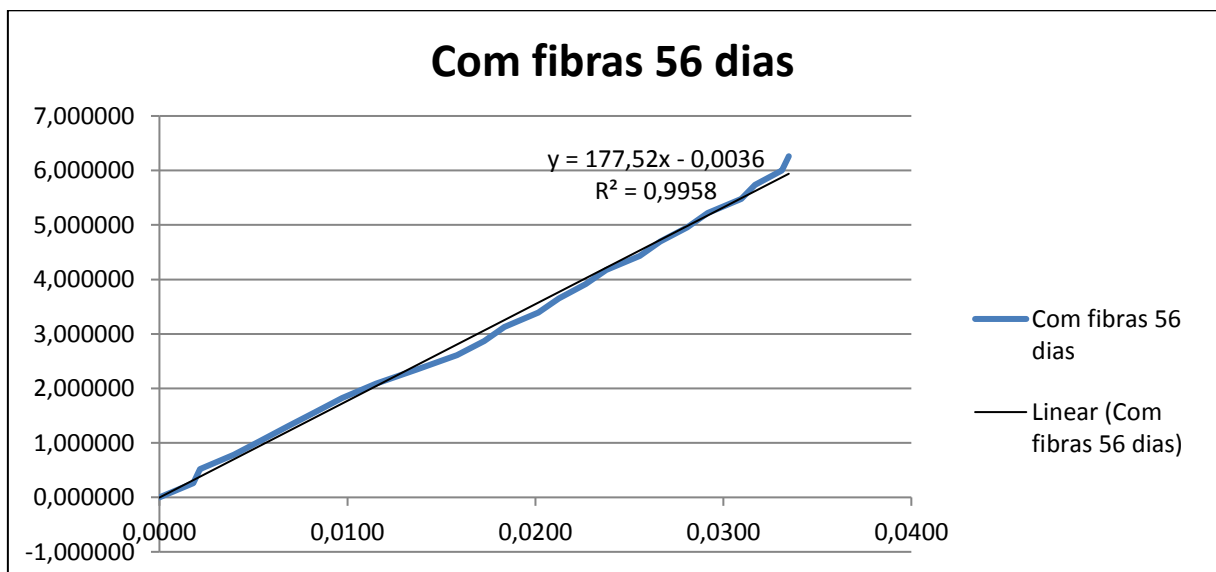


Fonte: O autor, 2019.

No Gráfico 6 são apresentados os resultados da média das amostras sem adição de fibras, obtendo o erro quadrático de 0,9907 – próximo a 1 – evidenciando a precisão do ensaio realizado, sendo importante ressaltar a linearidade da reta, seguindo a Lei de Hooke.

O Gráfico 7 apresenta a linha de tendência dos prismas com fibras do Gráfico 5.

Gráfico 7 - linha de tendência média dos prismas com fibras aos 56 dias.

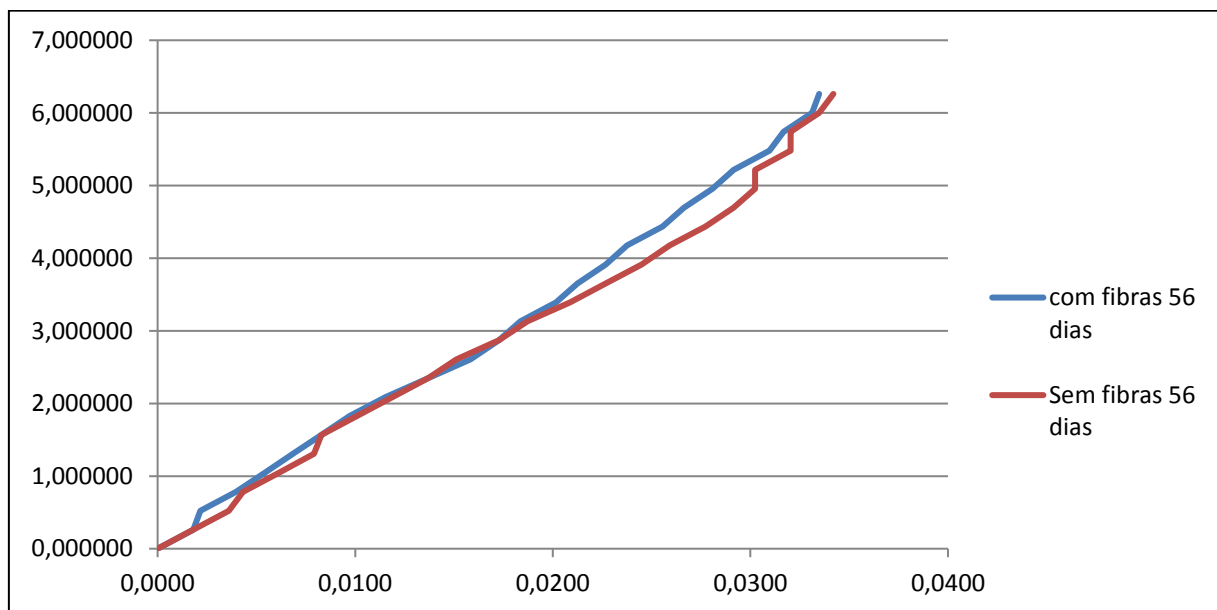


Fonte: O autor, 2019.

No Gráfico 7 são mostrados os resultados médios dos prismas com o acréscimo de fibras de polipropileno, obtendo para a amostra o erro quadrático de 0,9958 – resultado próximo a 1 – sendo fundamental para aprovação dos resultados segundo o método dos erros quadráticos. É importante ressaltar a linearidade da reta, indo de acordo com a Lei de Hooke.

No Gráfico 8 são apresentados os resultados médios de comparação dos prismas sem adição de fibras e com adição de fibras aos 56 dias.

Gráfico 8 - TensaoxDeformação média aos 56 dias dos prismas.



Fonte: O autor, 2019.

Ambos os corpos de provas seguiram a Lei de Hooke na questão da proporcionalidade de força e deslocamento, demonstrado pela linearidade de ambas as retas. Todos os corpos de prova obtiveram resultados satisfatórios com erro quadrático próximo a 1, que são resultados aceitáveis. Os corpos de prova com adição de fibras apresentam deslocamentos inferiores aos dos corpos de prova padrão, que podem ser melhor observados a partir da tensão de 3 MPa.

Na Tabela 18 e Tabela 19 são apresentadas as tensões de ruptura e módulo de elasticidade média dos prismas que foram confeccionados sem e com a adição das fibras de polipropileno.

O cálculo do módulo de elasticidade foi realizado conforme a equação da norma NBR 8522 (ABNT, 2017) sendo mostrada na Equação 4

$$E_{ci,i} = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} 10^{-3} = \frac{\sigma_b - \sigma_a}{\varepsilon_b - 50 \times 10^{-6}} 10^{-3} \quad (4)$$

Em que:

$E_{ci,i}$ = Módulo de elasticidade

σ_b = É a tensão correspondente a 30% da carga de ruptura especificada em projeto

σ_a = Tensão básica

ε_b = Deformação correspondente a 30% da carga de ruptura especificada em projeto.

Tabela 18 - Módulo de elasticidade e tensão de ruptura aos 7 dias.

MÓDULO DE ELASTICIDADE E TENSÃO DE RUPTURA AOS 7 DIAS (MPa)						
Tipo	Propriedade	Valor médio (MPa)				
Sem fibras	Módulo de elasticidade	15940	16880	13040	14490	15350
	Tensão de ruptura	11,30	11,65	12,09	12,70	11,22
Com Fibras	Módulo de elasticidade	14,58	17,39	14,58	15,48	16,11
	Tensão de ruptura	11,13	11,74	12,87	12,00	12,70

Fonte: O autor, 2019.

O módulo de elasticidade médio dos prismas confeccionados com o acréscimo de fibras comparação com os prismas confeccionados sem adição de fibras, aos 7 dias, apresentaram o aumento médio de 3,21%, passando de 15,14 GPa a 15,63 GPa, respectivamente. Segundo EL DEBS (2000), esse fato deve-se a ineficiência da argamassa na distribuição dos esforços nas faces dos blocos.

Tabela 19 - Módulo de elasticidade e tensão de ruptura aos 56 dias.

MÓDULO DE ELASTICIDADE E TENSÃO DE RUPTURA AOS 56 DIAS (MPa)						
Tipo	Propriedade	Valor médio (MPa)				
Sem fibras	Módulo de elasticidade	15350	14490	16880	14490	15480
	Tensão de ruptura	11,83	11,91	10,87	11,13	12,43
Com Fibras	Módulo de elasticidade	15,65	14,58	19,14	15,65	15,62
	Tensão de ruptura	10,70	11,91	12,00	11,22	12,52

Fonte: O autor, 2019.

O Módulo de elasticidade médio dos prismas padrão houve o aumento de 1,29 % entre as idades de 7 e 56 dias. Entretanto, os prismas confeccionados com fibras de polipropileno apresentaram o acréscimo de 3,20% entre as idades de 7 e 56 dias,

atingindo o módulo de elasticidade médio de 16,13 GPa, resultado 5,15% superior ao prisma padrão.

5 SÍNTESES DOS RESULTADOS

Na Tabela 20 são apresentados os resultados médios obtidos de resistências à compressão, tração indireta e tração na flexão da argamassa. E na Tabela 21 estão dispostos os valores obtidos para o módulo de elasticidade médio dos prismas aos 7 e 56 dias, assim como o quantitativo da fissuração dos corpos de prova.

Tabela 20 - Resultados obtidos para resistência a compressão e resistência à tração.

RESUMO RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E TRAÇÃO									
IDADE (dias)	Resistência à compressão (MPa)			Resistência à tração direta (MPa)			Resistência à tração na flexão (MPa)		
	Padrão	Com fibra	Com fibra/ Padrão	Padrão	Com fibra	Com fibra/ Padrão	Padrão	Com fibra	Com fibra/ Padrão
7	2,90	2,90	0,00%	0,94	1,35	43,62%	0,29	0,36	24,14%
28	3,57	3,57	0,00%	1,03	1,48	43,69%	0,37	0,42	13,51%
56	3,71	3,72	0,27%	1,07	1,54	43,93%	0,38	0,43	13,16%

Fonte: O autor, 2019.

Tabela 21 - Resultados obtidos para módulo de elasticidade e fissuração.

RESUMO MÓDULO DE ELASTICIDADE E FISSURAÇÃO						
IDADE (dias)	Módulo de elasticidade médio (MPa)			Quantitativo dos corpos de provas que não apresentaram fissura até o rompimento		
	Padrão	Com fibra	Com fibra/ Padrão	Padrão	Com fibra	Com fibra/ Padrão
7	29689	32065	0,00%	17%	40%	140%
56	32019	32936	0,27%	40%	60%	50%

Fonte: O autor, 2019.

Observando a Tabela 19, apesar da resistência à compressão não ter apresentado aumento significativo, à resistência à tração indireta houve aumento de aproximadamente 43,7% havendo pouca variação entre as idades; e na tração na flexão, apesar do aumento ter sido maior na idade de 7 dias, com o resultado 24% e aos 56 dias o resultado passou a ser 13,16% superior ao se acrescentar fibras de polipropileno, o resultado se provou satisfatório quando observado o aumento da tenacidade provocado pela fibra, ocasionando a não ruptura completa do corpo de prova.

Nos resultados apresentados para o módulo de elasticidade, foi verificado aumento médio de 5,15% na idade de 56 dias, indicando aumento da rigidez do material, e pode ser observado em conjunto com os resultados obtidos a partir do instante de carga da primeira fissura, em que os corpos de provas com fibras eram

mais rígidos, e chegavam ao rompimento antes do instante de carga da primeira fissura em maior proporção se comparado ao corpo de prova padrão

6 CONCLUSÃO

A busca por materiais que melhorem a qualidade da alvenaria estrutural é crescente, uma vez que grandes obras apresentam manifestações patológicas após a entrega, e são necessários altos gastos para recupera-las. A alvenaria estrutural é um método muito utilizado no Brasil, principalmente em obras custodiadas pelo programa “Minha Casa Minha Vida”, do Governo Federal, sendo permitida a execução de edifícios multifamiliares de 3 a 5 pavimentos. A alvenaria estrutural é método de construção rápido, dispensando pilares e vigas, e pode ser uma solução para reduzir o déficit habitacional.

É de conhecimento o aparecimento de manifestações patológicas, como fissuras. Estas, podem ser combatidas de diversos modos durante a execução da obra. A alvenaria estrutural deve ser uma construção sólida, que não apresente manifestações patológicas, possua baixo índice de desperdício de materiais e resistência à compressão, tração indireta, tração na flexão e módulo de elasticidade, para suportar toda carga, pois as cargas serão absorvidas pela alvenaria.

Para os ensaios de tração indireta, tração na flexão e compressão diametral os critérios estatísticos utilizados para permanência dos resultados foram: média, desvio padrão e coeficiente de variação. Nos prismas de 3 blocos além dos critérios anteriormente mencionados, também foi realizado o cálculo do erro quadrático.

Os resultados obtidos foram satisfatórios e em concordância com a bibliografia. Com relação à resistência à compressão diametral não ocorreu grande variação de resistência entre os corpos de provas com fibras e sem fibras, porém ambas os corpos de provas apresentaram aumento de 28% com a evolução das idades de 7 ao se comparar a idade de 56 dias.

Para a resistência à tração indireta, houve acréscimo médio de 43,74% ao se adicionar fibras de polipropileno à argamassa. Este fato se deve à fibra de polipropileno agir como reforço na matriz (argamassa): a resistência a tração da fibra utilizada é de 300 MPa, muito superior à resistência da argamassa comum, cerca de 1 MPa, o que resulta em um aumento significativo de resistência à tração no compósito.

A resistência à tração na flexão foi a propriedade onde se notaram os maiores aumentos na argamassa com adição de fibras. Na idade de 7 dias, ocorreu um aumento da resistência média de 24,14% com relação à argamassa padrão. Esse aumento deve-se ao fato da argamassa estar endurecida, mas não com sua resistência completa, uma vez que o cimento utilizado (CP-II E32) necessita de maior tempo para atingir a resistência da argamassa. Dessa forma, conclui-se que as fibras têm maior atuação em idades iniciais antes dos 28 ou 56 dias. O aumento de resistência aos 56 dias foi de 13,34%, ressaltando o aumento de tenacidade do compósito, já que eles se rompiam, mas não se separavam.

Os resultados obtidos para o módulo de elasticidade apresentaram aumento de resistência na média de 3,20% na idade de 7 dias e 5,15% para a idade de 56 dias. Foram resultados dentro do esperado, conforme observado na literatura, com aumento relativamente pequeno, pois a fibra de polipropileno possui o módulo de elasticidade menor que o do bloco de concreto. Assim sendo, o módulo de elasticidade encontrado foi mais próximo do módulo de elasticidade do concreto encontrado em estudos. Foi mencionado anteriormente neste trabalho que a principal função das fibras na alvenaria estrutura é garantir a melhor distribuição de cargas, diminuindo os pontos críticos e, conseqüentemente, reduzindo as fissuras.

Pelos resultados apresentados, a fibra de polipropileno garante melhorias mecânicas de tração indireta, tração na flexão, e módulo de elasticidade, sendo essas características fundamentais para diminuição da fissuração na alvenaria estrutural.

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Analisar o módulo de elasticidade da argamassa com fibras e sem fibras de polipropileno;
- confeccionar prismas com três blocos de concreto estrutural para o cálculo do módulo de elasticidade na idade de 365 dias;
- verificar com maior número de amostras o instante de carga de primeira fissura nas idades de 7 dias e 56 dias;
- utilizar outro traço de argamassa;
- analisar a viabilidade técnica e econômica da construção de uma obra utilizando fibras de polipropileno e sem a utilização das fibras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 45 – Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios.** Rio de Janeiro, 2006.

_____. **NBR NM 49 – Agregado miúdo – Determinação de impurezas orgânicas.** Rio de Janeiro, 2001.

_____. **NBR NM 52 – Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente.** Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR NM-ISO 3310-1 – Peneiras de ensaio – Requisitos técnicos e verificação.** Rio de Janeiro, 2010.

_____. **NBR 6118 – Projeto de estruturas de concreto – Procedimento.** Rio de Janeiro, 2014.

_____. **NBR 6136 – Blocos Vazados de Concreto Simples para Alvenaria – Requisitos.** Rio de Janeiro, 2008.

_____. **NBR 7200 – Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Procedimento.** Rio de Janeiro, 1998.

_____. **NBR 7211 – Agregados para concreto – Especificação.** Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 7211 – Agregados para concreto – Especificação.** Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR 7212 – Agregados - Determinação da composição granulométrica.** Rio de Janeiro, 1987.

_____. **NBR 7218 – Agregado – Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis.** Rio de Janeiro, 2012.

_____. **NBR 8522 – Concreto – Determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação à compressão.** Rio de Janeiro, 2017.

_____. **NBR 11579 – Cimento Portland — Determinação do índice de finura por meio da peneira 75 µm (nº 200).** Rio de Janeiro, 2012.

_____. **NBR 12118 – Blocos Vazados de Concreto Simples para Alvenaria – Métodos de ensaio.** Rio de Janeiro, 2011a.

_____. **NBR 12142 – Concreto — Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos.** Rio de Janeiro, 2010.

_____. **NBR 13276 – Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do índice de consistência.** Rio de Janeiro, 2016.

_____.NBR 13277 – **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da retenção de água.** Rio de Janeiro, 1995.

_____.NBR 13278 – **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado.** Rio de Janeiro, 1995.

_____. NBR 13279 – **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão.** Rio de Janeiro, 2005.

_____.NBR 15270-2- **Implantes para cirurgia — Materiais cerâmicos Parte 2: Requisitos para fosfato de beta-tricálcio.** Rio de Janeiro, 2018.

_____.NBR 15530 - **Fibras de aço para concreto.** Rio de Janeiro, 2007.

_____.NBR 15873 – **Coordenação Modular para Edificações.** Rio de Janeiro, 2010.

_____.NBR 15961-1- **Alvenaria estrutural – Blocos de concreto – Parte 1: Projeto.** Rio de Janeiro, 2011b.

_____.NBR 15961-2- **Alvenaria estrutural — Blocos de concreto — Parte 2: Execução e controle de obras.** Rio de Janeiro, 2011c.

_____. NBR 16522 – **Alvenaria de blocos de concreto - Métodos de ensaio.** Rio de Janeiro, 2016.

_____.NBR 16605- **Cimento Portland e outros materiais em pó — Determinação da massa específica.** Rio de Janeiro, 2017.

AGOPYAN, V.; JOHN, V. M. **Durability evaluation of vegetable fibre reinforced materials.** Building Research and Information, v. 20, n.4 , p 233 235, 1992.

AGOPYAN, V.; SAVASTANO Jr, H. **Uso de materiais à base de fibras vegetais na construção civil: experiência brasileira.** In: Seminário Iberoamericano 1997 de Materiales Fibrorreforzados, 1, y Reunión Proyecto PIP VIII. 5 Cyted, 3., Cali, 1997. Memórias. Cali, Universidad del Valle, 1997. P 23 40.

AL KHALAF, M. N.; PAGE, C. L. **Steel/mortar interfaces: microstructural features and mode of failure.** Cement and Concrete Research, 9. 1979. 197-208.

ALVENARIA DE VEDAÇÃO. Revista de Engenharia e Tecnologia. 7. 37-47.

[AMARAL JUNIOR, J. C.; SILVA, L. C.; MORAIVA, W. G.](http://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620170001.0112) **Análise experimental da adição de fibras poliméricas nas propriedades mecânicas do Concreto.** Matéria (Rio de Janeiro) [online]. 2017, vol.22, n.1, e11780. Epub May 02, 2017. ISSN 1517-7076. <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620170001.0112>

AOKI, J. **Fibras para Concreto**. Disponível em: <http://www.cimentoitambe.com.br/massa-cinzenta/fibras-para-concreto/>. Acesso em 14/05/2019.

ASSIS, J. B. S. de. **Avaliação Experimental do Comportamento Estrutural de Paredes Não Armadas, Submetidas à Compressão Axial, Construídas com Tijolito**. Dissertação de Mestrado apresentada ao Departamento de Engenharia de Estruturas da Universidade Federal de Minas Gerais, 2001. 210f.

BARBOSA, M. P. **Estudo da interação entre grupos de paredes na distribuição das cargas verticais em edifícios de alvenaria estrutural**. 2017.

BARROS, A. R. **Avaliação do comportamento de vigas de concreto autoadensável reforçado com fibras de aço**. 2009. 155p. Dissertação (Pós-graduação) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2009.

BORGES, L. A. **Revestimento Em Argamassa: Solução Econômica Para Uma Obra Mais Sustentável**. Monografia-Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2012.

CAMACHO, J. S. **Contribuição ao estudo de modelos físicos reduzidos de alvenaria estrutural cerâmica**. Tese de doutorado, Universidade de São Paulo, 1995

CAMACHO, J. S. **Projeto de Edifícios de Alvenaria Estrutural – Notas de Aula**, Ilha Solteira-SP, 2001.

CARASEK, H. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. São Paulo, IBRACON, 2007.

CARVALHO, R. C.; FIGUEIREDO FILHO, J. R. de. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado: segundo a NBR 6118:2003**. 3. ed. São Carlos: Edufscar, 2010.

CASTRO, A. L.; TIBA, P. R. T.; PANDOLFELLI, V. C. **Fibras de polipropileno e sua influência no comportamento de concretos expostos a altas temperaturas**. Cerâmica vol.57 no.341 São Paulo, 2011.

CASTRO, L. O. **Avaliação experimental da interação de paredes de blocos de concreto de alta resistência sob ações verticais**. 2015. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, Minas Gerais, 2015. Cerâmica. v.57, n.341. São Paulo, 2011.

CIFUENTES, H.; GARCÍA, F.; MAESO, O.; MEDINA, F. **Influence of the properties of polypropylene fibres on the fracture behaviour of low-, normal- and high-strength FRC**. Construction and Building Materials. 45, 130–137, 2013.

COELHO, C. L. **Urbanismo E Cidade No Antigo Egito: Algumas Considerações Teóricas**. Plêthos, vol 1, 2011.

COMINOLI, L.; FAILLA, C.; PLIZZARI, G. **Steel and synthetic fibres for enhancing concrete toughness and shrinkage behaviour**. International Conference of Sustainable Construction Materials and Technologies. Coventry, United Kingdom. 11- 13, 231-240. 2007

DAVID GRUBBA. **Materiais de Construção: Para Gostar e Aprender**, Edição 22.2016

DUARTE, R. B. **Recomendações para o projeto e execução de edifícios de Alvenaria Estrutural**, ANICER – Associação Nacional da Indústria Cerâmica, Porto Alegre - RS, 1999.

EL DEBS, M. K. **Concreto pré-moldado: fundamentos e aplicações**. EESC-USP, São Carlos, 2000. 465p.
EN 1996-1-1:2005: **Eurocode 6: Design of masonry structures - Part 1-1: General rules for reinforced and unreinforced masonry structures**

FAHAD, B. M; HAMZA, M. M. **Improving Some Of Physical Properties Of Cement Mortar By The Addition Of Glass Fibers**. Journal of Engineering and Sustainable, 2016.

FEDERATION INTERNATIONALE DU BETON. *Fib Bulletin 55: Model Code 2010*, First complete draft, v. 1, 2010.

GOMES, I. R. **Simulação numérica do ensaio de compressão de prismas de alvenaria pelo método dos elementos finitos com comportamento de interface**. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis [s.n.], 2001. 182 p

GRUBBA, D. **Materiais de Construção: Para Gostar e Aprender**. 22^a ed. 2016.

H.R. **Mechanical behaviour of bedding mortar for structural masonry – preview and failure mode**. Revista Matéria, v. 14, p. 824–844, 2009. ISSN 1517-7076.

HASSAN, K. E.; ROBERY, P. C.; AL-ALAWI, L. **Effect of hot-dry curing environment on the intrinsic properties of repair materials**. Cement and Concrete Composites, v.22, 2000, p.453-458.

HASSAN, K. E.; ROBERY, P. C.; AL-ALAWI, L. **Effect of hot-dry curing environment on the intrinsic properties of repair materials**. Cement and Concrete Composites, V. 22, 2000, pp453-458.

HENDRY. A. W.; SINHA B. P.; DAVIES S. R. **Design of Masonry Structures. Department of Civil Engineering**. University of Edinburgh. UK. E & FN SPON. 3^a ed. London. 2004.

JOHNSON, C.D. **In progress in concrete technology**, Malhotra, V.M,ed, CANMET, Ottawa, pp 402-504, 1980.

JUNIOR, O. A. **A Fibra de Vidro em Matrizes Poliméricas e Cimentícias e Seu Uso Estrutural em Construção Civil – o Estado-da-Arte**. 2007. 205 p. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de São Carlos, São Paulo, 2007.

KAKOOEI, S.; AKIL, H. M.; JAMSHIDI, M.; ROUHI, J. **The effects of polypropylene fibers on the properties of reinforced concrete structures**. Construct Build Mater. 27(1), 73–7, 2012.

KESNER, K.E. **Selecting durable repair materials, Performance criteria- summary**. Journal. v.24. p.37-44. 2002.

KUMAR, R.; GOEL, P.; MATHUR, R. **Suitability of Concrete Reinforced with Synthetic Fiber for the Construction of Pavements**. Proceedings of the 3rd International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies, Kyoto, Japan; 8 pp. 2013.

LOVELL, J.; **Grande Muralha: A China Contra O Mundo - 1000 A.C.-2000 D.C.** 1 ed,2006.

MARTINS, D. V. A. ; SOARES, L. M. **Avaliação Do Desempenho De Revestimentos De Argamassa Com Fibras De Papel Kraft Provenientes De Embalagens De Cal**. Goiânia, 2016.

MAZON, A. L. **Controle de qualidade em blocos cerâmicos - Um enfoque multidisciplinar**. Centro Universitário Anhanguera - Câmpus Pirassununga. 2004

MCDONALD, J. E.; VAYSBURD, A.M.; EMMONS, P.H.;POSTON, R.W.; KESNER, K. E. **Selecting durable repair materials: Performance criteria-summary**. Jornal. vol 24 p.37-44.2002.

MEDEIROS, M. H. F. **Estruturas de concreto com corrosão de armaduras por carbonatação: comparação de argamassas de reparo quanto à proteção do aço**. São Paulo, 2002. 193p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica Universidade de São Paulo.

MEHTA, P.K. **Durability – Critical issues for the future**. Concrete International. V19, no 7. pp 27-33, 1997.

MOHAMAD, G.; NETO, A.B.DA S.S.; PELISSER F.; LOURENÇO, P.B.; ROMAN, H.R. **Mechanical behaviour of bedding mortar for structural masonry – preview and failure mode**. Revista Matéria, v. 14, p. 824 – 844, 2009. ISSN 1517-7076.

MOHAMAD, G.; RIZZATTI, E.; ROMAN, H. R. **Modo de ruptura, deformabilidade e resistência de pequenas paredes estruturais**. Novembro 2012.

OLIVEIRA, E. A. **Estudo numérico e experimental de paredes de alvenaria não estruturais reforçadas com armadura de juntas submetidas à flexão no seu plano**. Tese de doutorado apresentada a Universidade Federal de Minas Gerais. Minas Gerais. 2009.

OLIVEIRA, M. L. L.; **Influência da adição de fibras de polipropileno em argamassas**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. 2001.

PARDAL, J. M.; FARNEZE, H. N.; KENEDY, P. P.; TAVARES, S. S. M.; BARROS, S. R. **Análise De Falhas De Componentes Mecânicos**. CEFET. Rio de Janeiro. 2019.
 PASTORELLO, F. **Paris: Roteiro pela Ile de la Cité, Notre-Dame e Sainte-Chapelle**. Disponível em < <https://viagenscinematograficas.com.br/2015/11/paris-roteiro-ile-de-la-cite-notre-dame.html/>> Acesso em: 15, Jul., 2018.

PAVAN, R.; COSTELLA, M.; PILZ, S.; MOTTA, B.; et. al. (2015). Determinação Da Tensão De Ruptura De Materiais Utilizados Na Recuperação De Fissuras Em Paredes De

PEÑA, M. R. G. **Estudo da fissuração associada à retração em argamassas para reparo em estruturas de concreto**. 2004. 120 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

Pinto, A. P. F., GOMES, A., PINTO, J. B. **Materiais de construção: Argamassas**. Lisboa, 2006. Disponível em: <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/563568428747271/Texto_Argamassa_6Dez07_2013.pdf>. Acesso em: 03, Abr., 2019.

PREMAZON. **Blocos de concreto: Estrutural**. Disponível em <<http://premazon.com.br/site/blocos-de-concreto-estrutural/>> Acesso em: 15, Jul., 2018.

RAMALHO, M. A.; CORRÊA, M. R. S. **Projetos de edifícios em alvenaria estrutural**. São Paulo, SP. PINI. 2003.

RIZZATTI, E.; ROMAN, H. R.; MOHAMAD, G.; NAKANISHI, E. Y. **Mechanical behavior analysis of small-scale modeling of ceramic block masonry structures – Geometries effect** .Rev. IBRACON Estrut. Mater.vol.5 no.5 São Paulo Oct. 2012

ROMAN, H. R. E. A. **Análise de alvenaria estrutural**. 1998. 38p.Universidade Coporativa Caixa. GDA. NPC. UFSC, 1998.

SANJUÁN, M.A; MORAGUES, A. **Polypropylene-fibre-reinforced mortar mixes: optimization to control plastic shrinkage**. Composites Science and Techonology, p.655-66. 1997

SILVA, R. D. P. **Argamassas com adição de fibras de polipropileno -estudo do comportamento reológico e mecânico**. São Paulo, 2006

SILVA, R.P. **Comportamento mecânico de compósitos de fibra de vidro/epoxy nano-reforçados**. Tese de doutorado apresentada ao departamento de engenharia mecânica da faculdade de ciências e tecnologias da universidade de Coimbra, 2014. 271 f.

SILVA, W. J. **Estudo experimental de ligações entre paredes de alvenaria estrutural de blocos cerâmicos sujeitas a ações verticais**. Dissertação de Mestrado. São Paulo, São Paulo. 2003. 160 f.

SILVA, R. P. **Comportamento mecânico de compostos de fibra de vidro/epoxy nano-reforçados**. Tese de Doutorado apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade De Ciências e Tecnologias da Universidade de Coimbra.

SINGH, S.; SHUKLA, A.; BROWN, R. **Pullout behaviour of polypropylene fibers from cementitious matrix**. *Cem Concr Res* 2004;34(10):1919–25

SMARZEWSKI, P.; HUNEK, D. B. **Fracture properties of plain and steel polypropylene-fiber-reinforced high-performance concrete**. *Materiali in tehnologije / Materials and technology* 49, 4, 563–571, 2015.

STRENZEL J.E., Santos M D F. **Comparativo Entre Blocos De Concreto E Blocos Cerâmicos Utilizados No Sistema De Alvenaria Estrutural**. 2016

SUN, Z., XU, Q., “Microscopic, physical and mechanical analysis of polypropylene fiber reinforced concrete”, **Materials Science and Engineering A**, v. 527, n.1-2, pp. 198-204, Dez. 2009.

SUPRENANT, B. A.; MALISCH, W. R. **The fiber factor**. The Aberdeen Group HanleyWood, Inc., Concrete Construction 1999

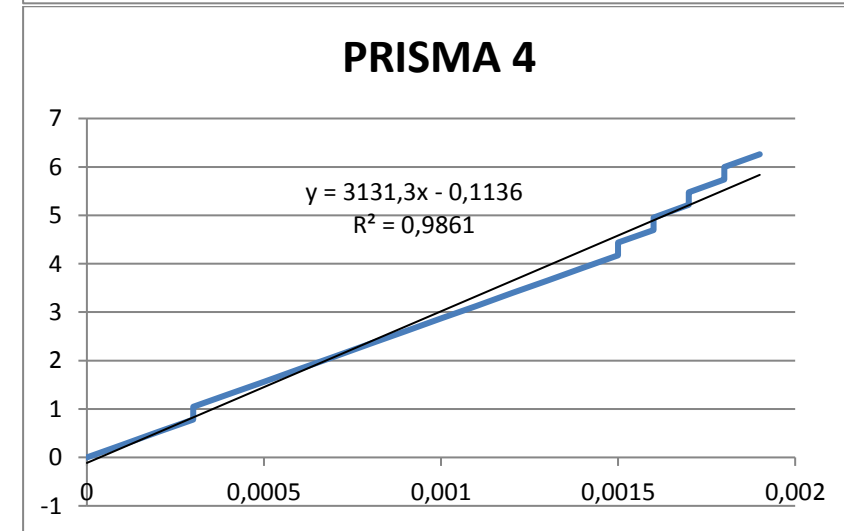
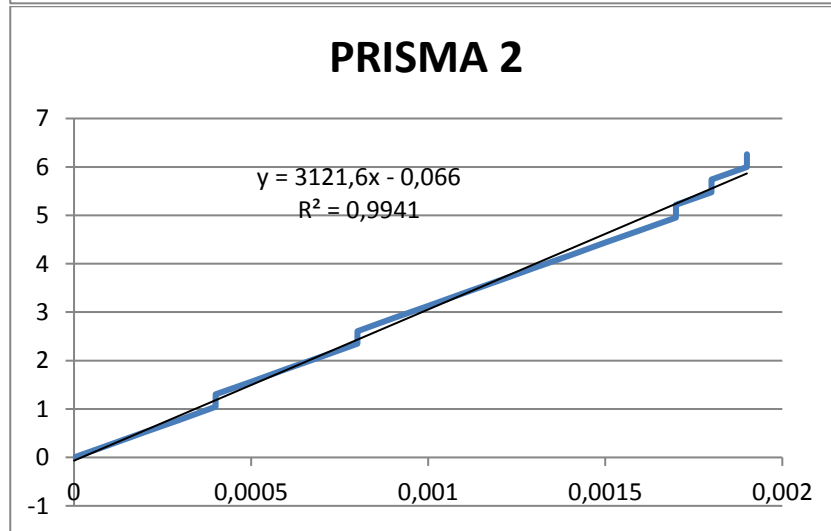
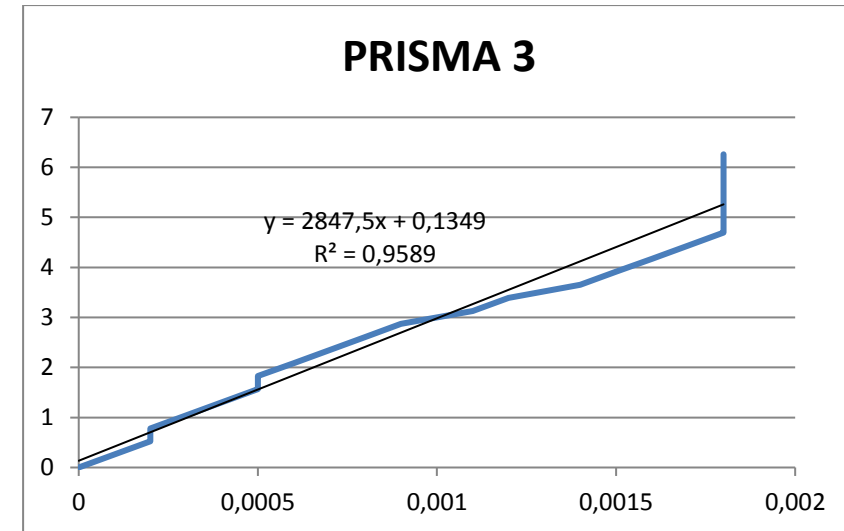
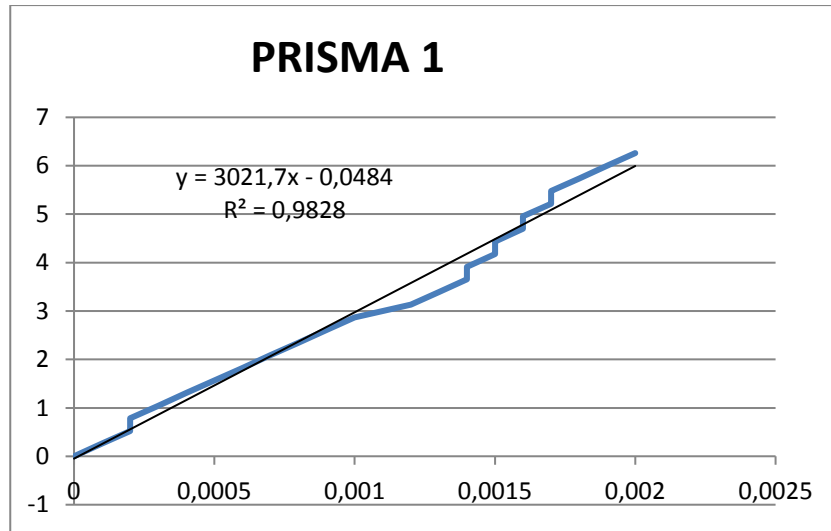
TANESI, J.; TORNERI, P.; FIGUEIREDO, A. D. A. **A influência das fibras de polipropileno na fissuração por retração**. In: Congresso IBEROAMERICANO DE PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES, IV- CONGRESSO DE CONTROLE DE QUALIDADE VI, 1997, Porto Alegre. Anais... Porto Alegre: LEME-CPGEC/DEC/UFRGS, 1997b. p. 273-280.

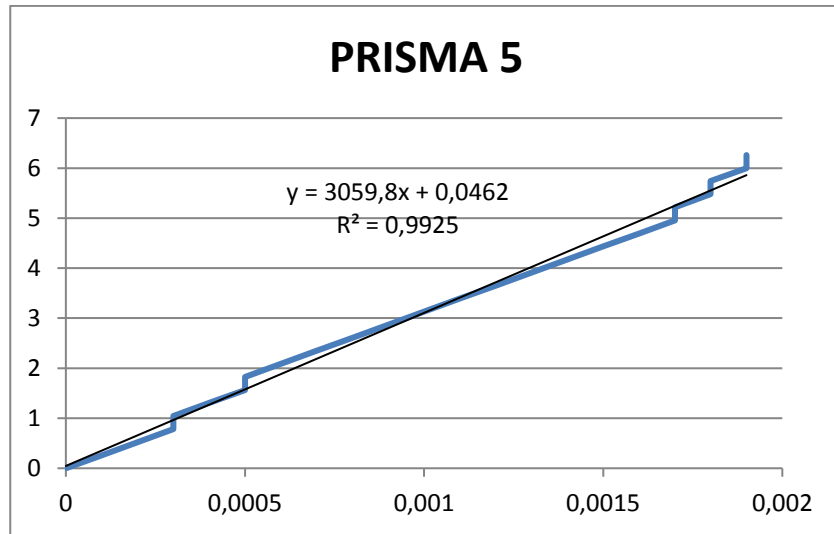
YUAN, Y.; LI, G.; CAI, Y. **Modeling for prediction of restrained shrinkage effect in concrete repair**. *Cement and Concrete Research*. V33, 2003 pp347 – 352.

APÊNDICE A – TABELA TENSÃO X DEFORMAÇÃO – SEM FIBRAS 7 DIAS

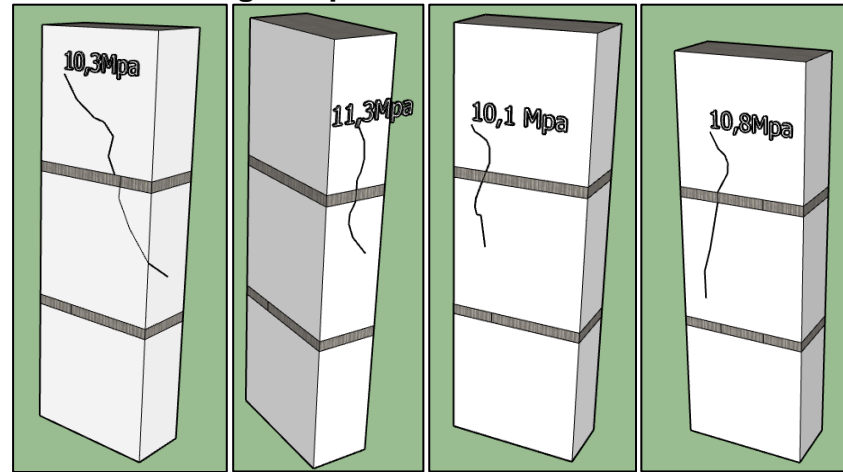
Carga (kgf)	Tensão x Módulo x Deformação aos 7 dias (MPa)									
	1		2		3		4		5	
	Resistência (MPa)	Deformação	Resistência (MPa)	Deformação	Resistência (MPa)	Deformação	Resistência (MPa)	Deformação	Resistência (MPa)	Deformação
0	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
300	0,26087	0,002	0,26087	0,002	0,26087	0,002	0,26087	0,002	0,26087	0,002
600	0,521739	0,004	0,521739	0,004	0,521739	0,004	0,521739	0,004	0,521739	0,004
900	0,782609	0,005	0,782609	0,005	0,782609	0,004	0,782609	0,005	0,782609	0,005
1200	1,043478	0,007	1,043478	0,007	1,043478	0,005	1,043478	0,005	1,043478	0,005
1500	1,304348	0,007	1,304348	0,007	1,304348	0,007	1,304348	0,007	1,304348	0,007
1800	1,565217	0,007	1,565217	0,009	1,565217	0,009	1,565217	0,009	1,565217	0,009
2100	1,826087	0,009	1,826087	0,011	1,826087	0,009	1,826087	0,011	1,826087	0,009
2400	2,086957	0,013	2,086957	0,013	2,086957	0,011	2,086957	0,013	2,086957	0,011
2700	2,347826	0,014	2,347826	0,014	2,347826	0,013	2,347826	0,014	2,347826	0,013
3000	2,608696	0,016	2,608696	0,014	2,608696	0,014	2,608696	0,016	2,608696	0,014
3300	2,869565	0,018	2,869565	0,016	2,869565	0,016	2,869565	0,018	2,869565	0,016
3600	3,130435	0,020	3,130435	0,018	3,130435	0,020	3,130435	0,020	3,130435	0,018
3900	3,391304	0,022	3,391304	0,020	3,391304	0,022	3,391304	0,022	3,391304	0,020
4200	3,652174	0,023	3,652174	0,022	3,652174	0,025	3,652174	0,023	3,652174	0,022
4500	3,913043	0,025	3,913043	0,023	3,913043	0,027	3,913043	0,025	3,913043	0,023
4800	4,173913	0,027	4,173913	0,025	4,173913	0,029	4,173913	0,027	4,173913	0,025
5100	4,434783	0,029	4,434783	0,027	4,434783	0,031	4,434783	0,027	4,434783	0,027
5400	4,695652	0,029	4,695652	0,029	4,695652	0,032	4,695652	0,029	4,695652	0,029
5700	4,956522	0,031	4,956522	0,031	4,956522	0,032	4,956522	0,029	4,956522	0,031
6000	5,217391	0,031	5,217391	0,031	5,217391	0,032	5,217391	0,031	5,217391	0,031
6300	5,478261	0,032	5,478261	0,032	5,478261	0,032	5,478261	0,031	5,478261	0,032
6600	5,73913	0,032	5,73913	0,032	5,73913	0,032	5,73913	0,032	5,73913	0,032
6900	6	0,034	6	0,034	6	0,032	6	0,032	6	0,034
7200	6,26087	0,034	6,26087	0,034	6,26087	0,032	6,26087	0,034	6,26087	0,034

APÊNDICE B – Relação Tensão x Deformação e instante de carga da primeira fissura para prismas sem fibras aos 7 dias





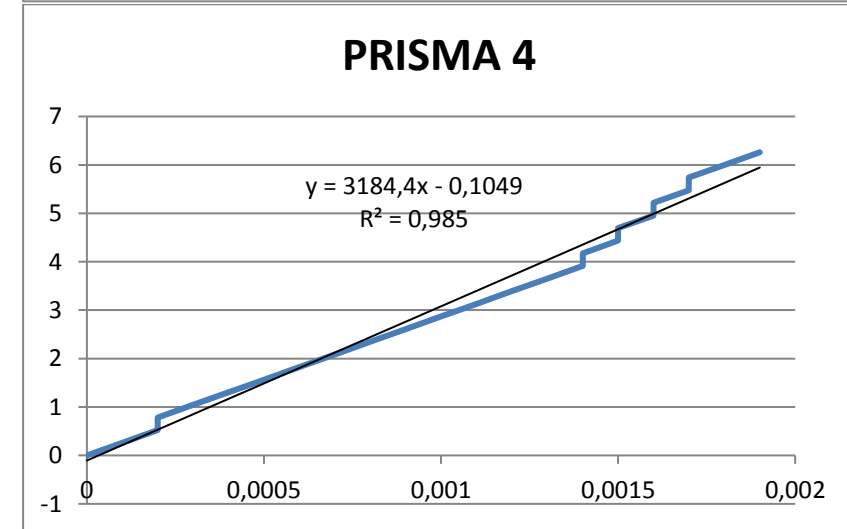
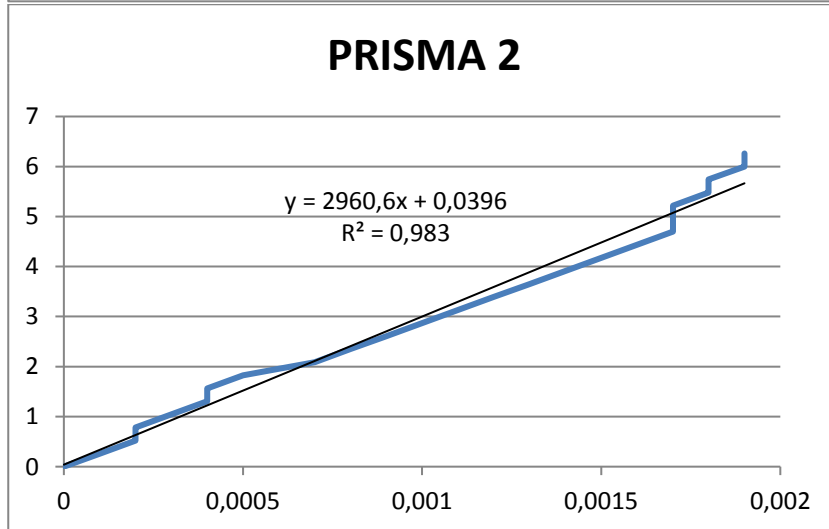
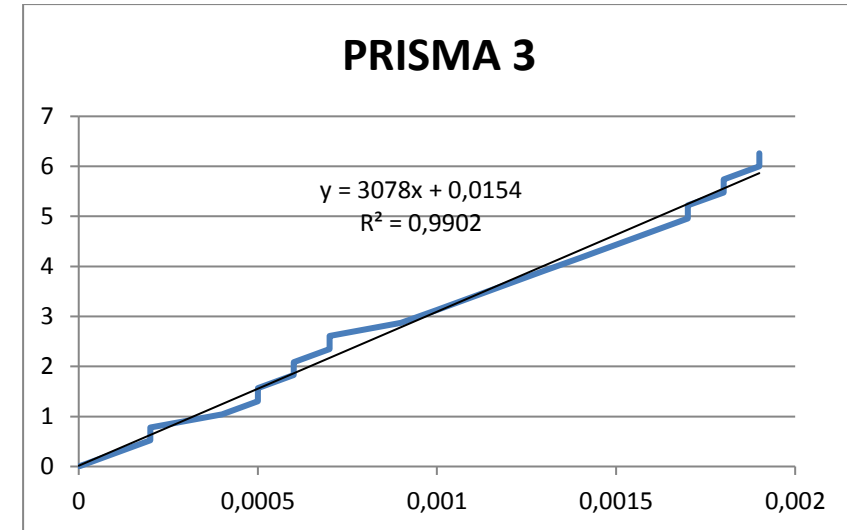
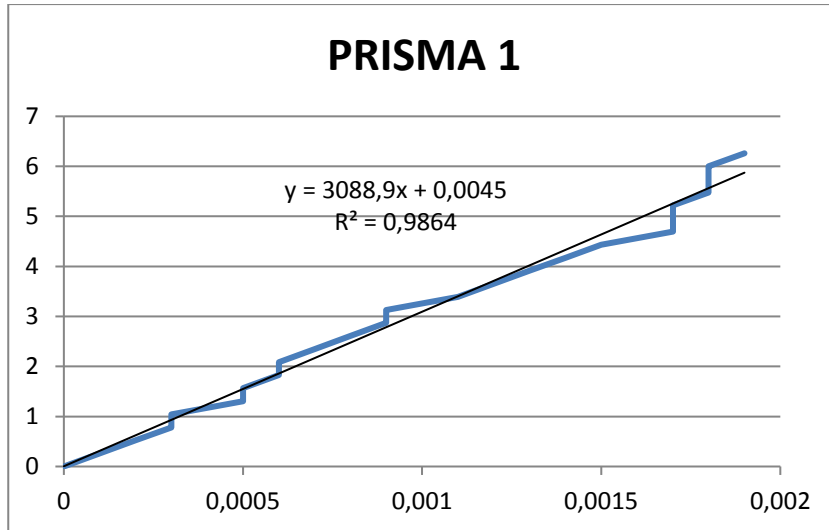
Instante de carga da primeira fissura na idade de 7 dias

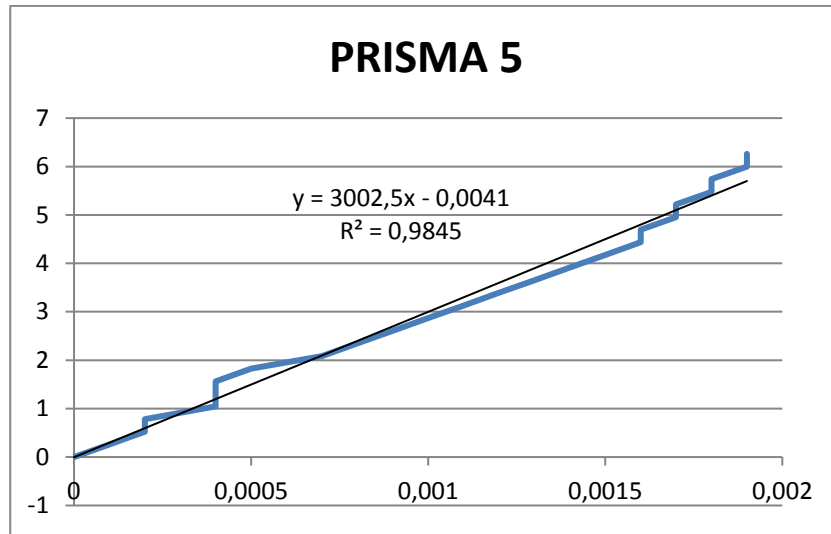


APÊNDICE C – TABELA TENSÃO X DEFORMAÇÃO – SEM FIBRAS 56 DIAS

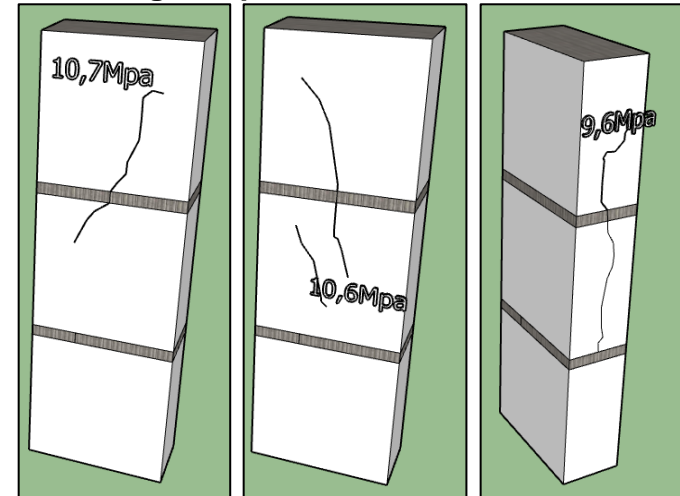
Carga (kgf)	Tensão x Módulo x Deformação aos 56 dias (MPa)									
	1		2		3		4		5	
	Resistência (MPa)	Deformação	Resistência (MPa)	Deformação	Resistência (MPa)	Deformação	Resistência (MPa)	Deformação	Resistência (MPa)	Deformação
0	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
300	0,26087	0,002	0,26087	0,002	0,26087	0,002	0,26087	0,002	0,26087	0,002
600	0,521739	0,004	0,521739	0,004	0,521739	0,004	0,521739	0,004	0,521739	0,004
900	0,782609	0,005	0,782609	0,004	0,782609	0,005	0,782609	0,004	0,782609	0,004
1200	1,043478	0,005	1,043478	0,005	1,043478	0,007	1,043478	0,005	1,043478	0,007
1500	1,304348	0,009	1,304348	0,007	1,304348	0,009	1,304348	0,007	1,304348	0,007
1800	1,565217	0,009	1,565217	0,007	1,565217	0,009	1,565217	0,009	1,565217	0,007
2100	1,826087	0,011	1,826087	0,009	1,826087	0,011	1,826087	0,011	1,826087	0,009
2400	2,086957	0,011	2,086957	0,013	2,086957	0,011	2,086957	0,013	2,086957	0,013
2700	2,347826	0,013	2,347826	0,014	2,347826	0,013	2,347826	0,014	2,347826	0,014
3000	2,608696	0,014	2,608696	0,016	2,608696	0,013	2,608696	0,016	2,608696	0,016
3300	2,869565	0,016	2,869565	0,018	2,869565	0,016	2,869565	0,018	2,869565	0,018
3600	3,130435	0,016	3,130435	0,020	3,130435	0,018	3,130435	0,020	3,130435	0,020
3900	3,391304	0,020	3,391304	0,022	3,391304	0,020	3,391304	0,022	3,391304	0,022
4200	3,652174	0,022	3,652174	0,023	3,652174	0,022	3,652174	0,023	3,652174	0,023
4500	3,913043	0,023	3,913043	0,025	3,913043	0,023	3,913043	0,025	3,913043	0,025
4800	4,173913	0,025	4,173913	0,027	4,173913	0,025	4,173913	0,025	4,173913	0,027
5100	4,434783	0,027	4,434783	0,029	4,434783	0,027	4,434783	0,027	4,434783	0,029
5400	4,695652	0,031	4,695652	0,031	4,695652	0,029	4,695652	0,027	4,695652	0,029
5700	4,956522	0,031	4,956522	0,031	4,956522	0,031	4,956522	0,029	4,956522	0,031
6000	5,217391	0,031	5,217391	0,031	5,217391	0,031	5,217391	0,029	5,217391	0,031
6300	5,478261	0,032	5,478261	0,032	5,478261	0,032	5,478261	0,031	5,478261	0,032
6600	5,73913	0,032	5,73913	0,032	5,73913	0,032	5,73913	0,031	5,73913	0,032
6900	6	0,032	6	0,034	6	0,034	6	0,032	6	0,034
7200	6,26087	0,034	6,26087	0,034	6,26087	0,034	6,26087	0,034	6,26087	0,034

APÊNDICE D – Relação Tensão x Deformação e instante de carga da primeira fissura para prismas sem fibras aos 56 dias



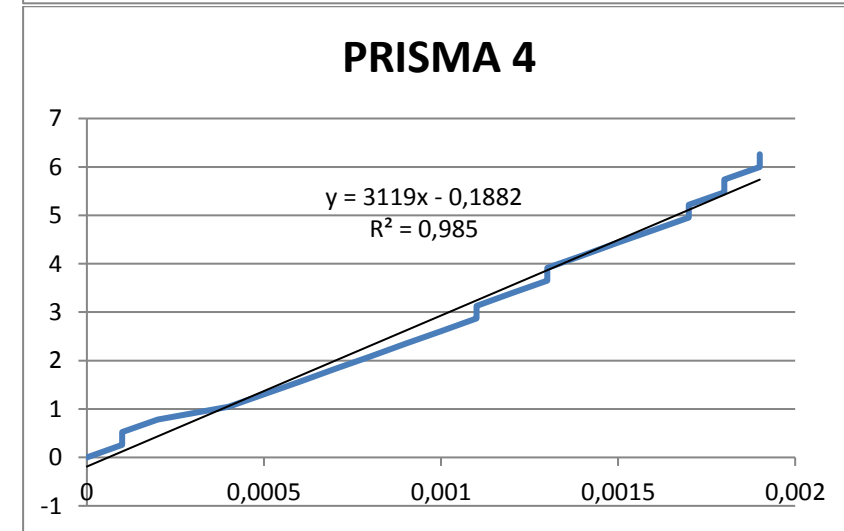
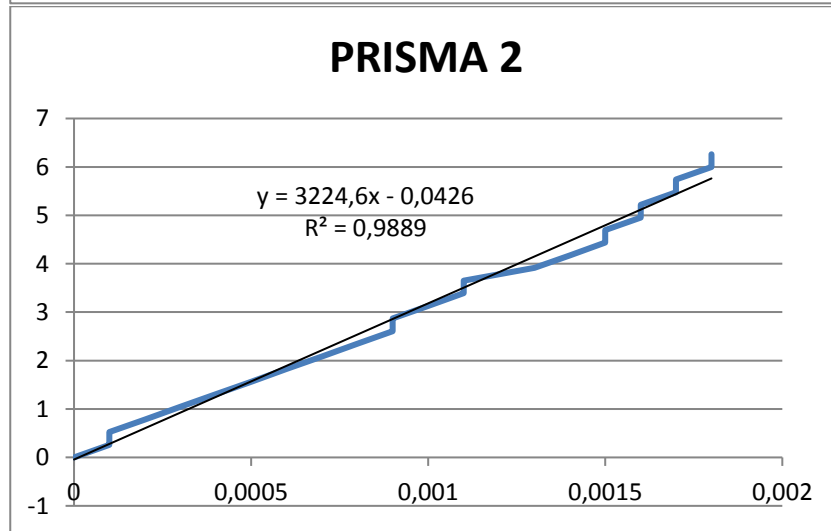
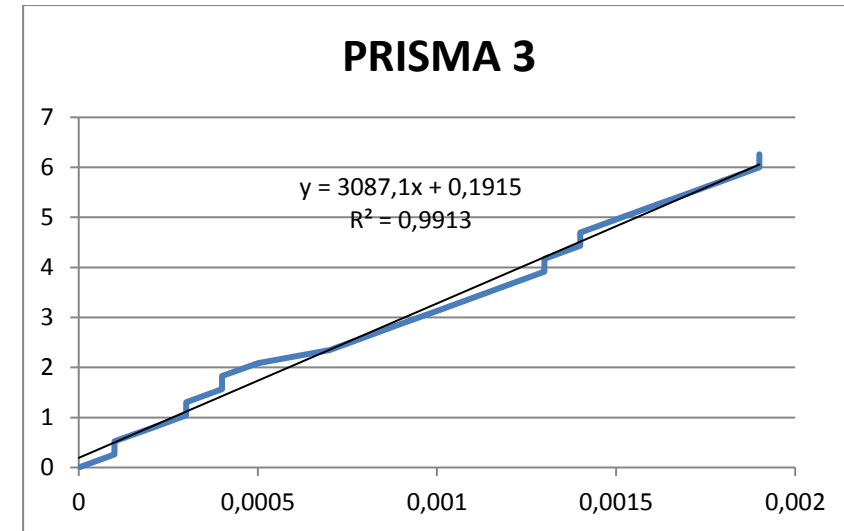
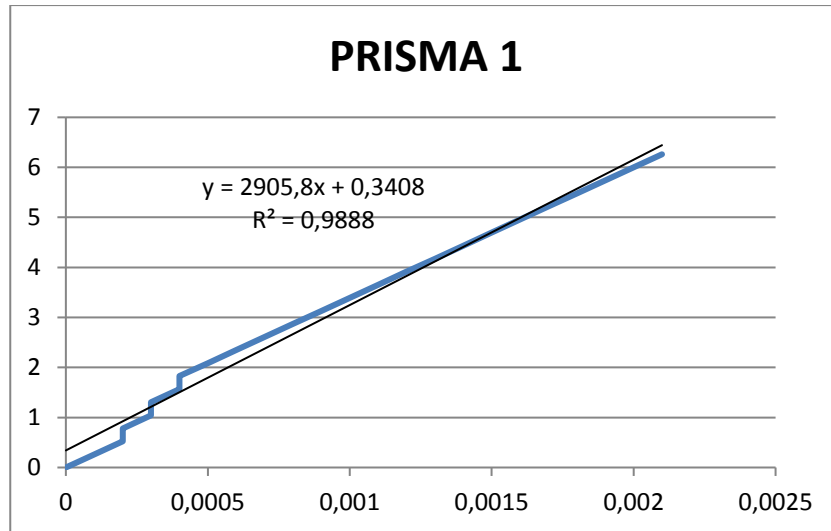


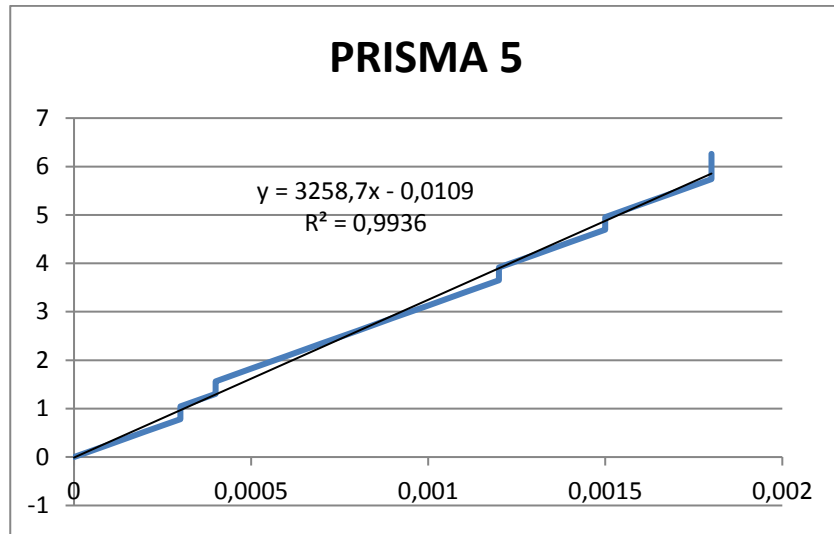
Instante de carga da primeira fissura na idade de 56 dias



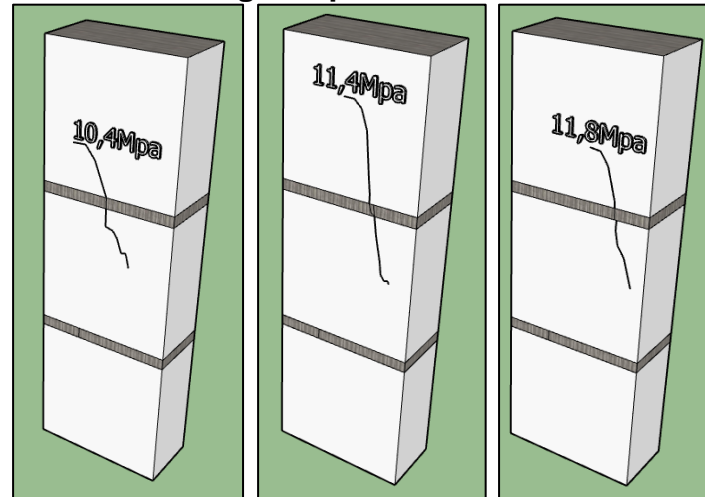
APÊNDICE E – TABELA TENSÃO X DEFORMAÇÃO– COM FIBRAS 7 DIAS

Carga (kgf)	TENSÃO X DEFORMAÇÃO AOS 7 DIAS (MPa)									
	1		2		3		4		5	
	Resistência (MPa)	Deformação	Resistência (MPa)	Deformação	Resistência (MPa)	Deformação	Resistência (MPa)	Deformação	Resistência (MPa)	Deformação
0	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
300	0,26087	0,002	0,26087	0,002	0,26087	0,002	0,26087	0,002	0,26087	0,002
600	0,521739	0,004	0,521739	0,002	0,521739	0,002	0,521739	0,002	0,521739	0,004
900	0,782609	0,004	0,782609	0,004	0,782609	0,004	0,782609	0,004	0,782609	0,005
1200	1,043478	0,005	1,043478	0,005	1,043478	0,005	1,043478	0,007	1,043478	0,005
1500	1,304348	0,005	1,304348	0,007	1,304348	0,005	1,304348	0,009	1,304348	0,007
1800	1,565217	0,007	1,565217	0,009	1,565217	0,007	1,565217	0,011	1,565217	0,007
2100	1,826087	0,007	1,826087	0,011	1,826087	0,007	1,826087	0,013	1,826087	0,009
2400	2,086957	0,009	2,086957	0,013	2,086957	0,009	2,086957	0,014	2,086957	0,011
2700	2,347826	0,011	2,347826	0,014	2,347826	0,013	2,347826	0,016	2,347826	0,013
3000	2,608696	0,013	2,608696	0,016	2,608696	0,014	2,608696	0,018	2,608696	0,014
3300	2,869565	0,014	2,869565	0,016	2,869565	0,016	2,869565	0,020	2,869565	0,016
3600	3,130435	0,016	3,130435	0,018	3,130435	0,018	3,130435	0,020	3,130435	0,018
3900	3,391304	0,018	3,391304	0,020	3,391304	0,020	3,391304	0,022	3,391304	0,020
4200	3,652174	0,020	3,652174	0,020	3,652174	0,022	3,652174	0,023	3,652174	0,022
4500	3,913043	0,022	3,913043	0,023	3,913043	0,023	3,913043	0,023	3,913043	0,022
4800	4,173913	0,023	4,173913	0,025	4,173913	0,023	4,173913	0,025	4,173913	0,023
5100	4,434783	0,025	4,434783	0,027	4,434783	0,025	4,434783	0,027	4,434783	0,025
5400	4,695652	0,027	4,695652	0,027	4,695652	0,025	4,695652	0,029	4,695652	0,027
5700	4,956522	0,029	4,956522	0,029	4,956522	0,027	4,956522	0,031	4,956522	0,027
6000	5,217391	0,031	5,217391	0,029	5,217391	0,029	5,217391	0,031	5,217391	0,029
6300	5,478261	0,032	5,478261	0,031	5,478261	0,031	5,478261	0,032	5,478261	0,031
6600	5,73913	0,034	5,73913	0,031	5,73913	0,032	5,73913	0,032	5,73913	0,032
6900	6	0,036	6	0,032	6	0,034	6	0,034	6	0,032
7200	6,26087	0,038	6,26087	0,0018	6,26087	0,0019	6,26087	0,0019	6,26087	0,0018

APÊNDICE F – Relação Tensão x Deformação e instante de carga da primeira fissura para prismas com fibras aos 7 dias

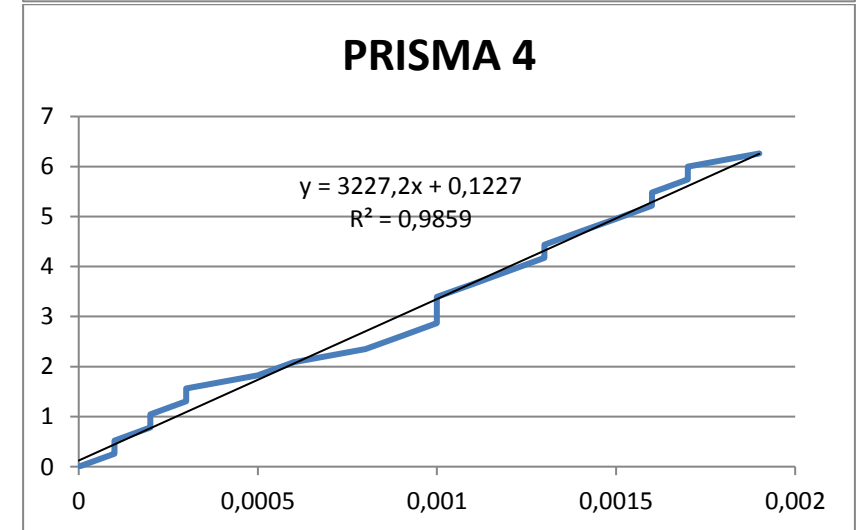
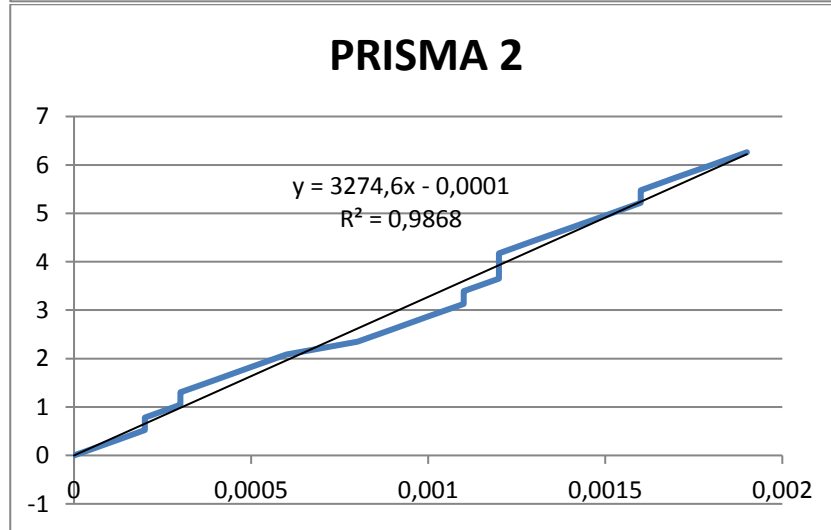
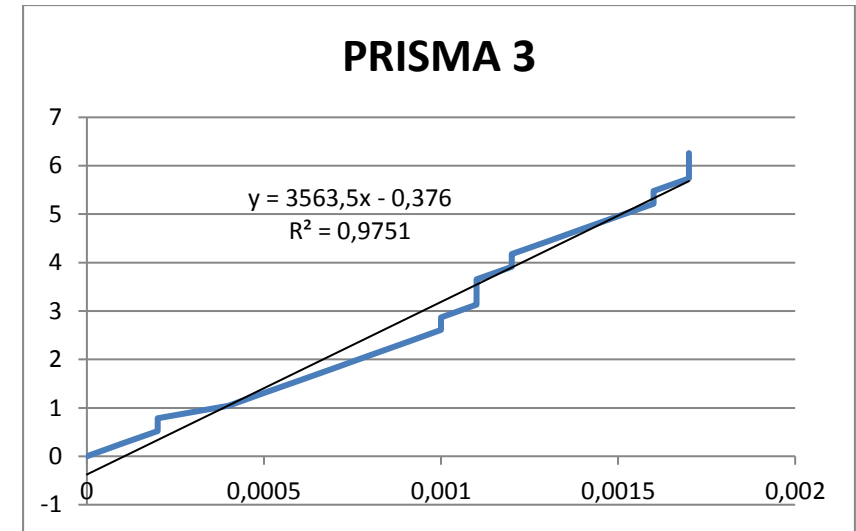
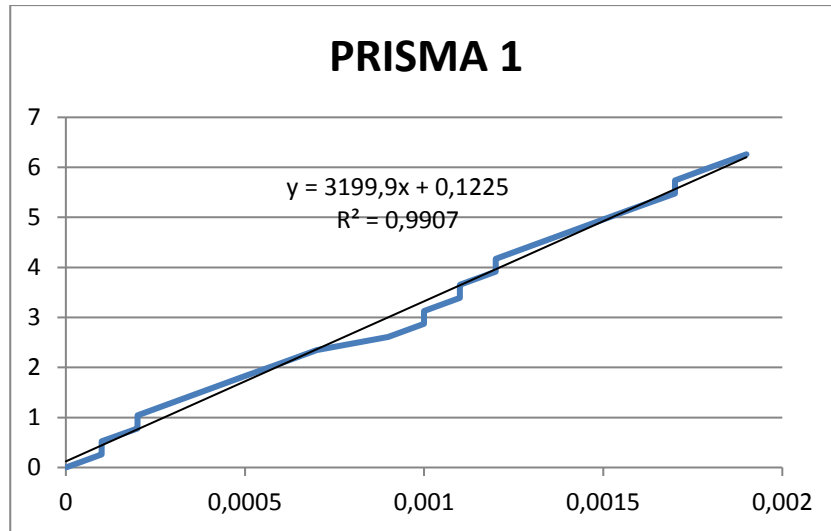


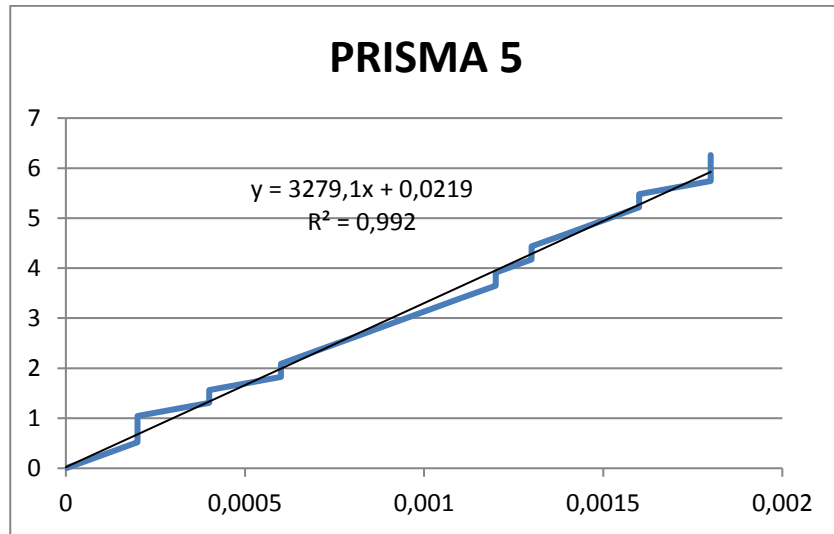
Instante de carga da primeira fissura na idade de 7 dias



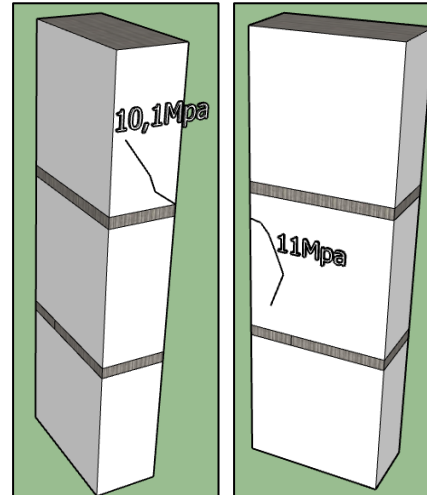
APÊNDICE G – TABELA TENSÃO X DEFORMAÇÃO – COM FIBRAS 56 DIAS

Carga (kgf)	Tensão x Módulo x Deformação aos 56 dias (MPa)									
	1		2		3		4		5	
	Resistência (MPa)	Deformação	Resistência (MPa)	Deformação	Resistência (MPa)	Deformação	Resistência (MPa)	Deformação	Resistência (MPa)	Deformação
0	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
300	0,26087	0,002	0,26087	0,002	0,26087	0,002	0,26087	0,002	0,26087	0,002
600	0,521739	0,002	0,521739	0,004	0,521739	0,004	0,521739	0,002	0,521739	0,004
900	0,782609	0,004	0,782609	0,004	0,782609	0,004	0,782609	0,004	0,782609	0,004
1200	1,043478	0,004	1,043478	0,005	1,043478	0,007	1,043478	0,004	1,043478	0,004
1500	1,304348	0,005	1,304348	0,005	1,304348	0,009	1,304348	0,005	1,304348	0,007
1800	1,565217	0,007	1,565217	0,007	1,565217	0,011	1,565217	0,005	1,565217	0,007
2100	1,826087	0,009	1,826087	0,009	1,826087	0,013	1,826087	0,009	1,826087	0,011
2400	2,086957	0,011	2,086957	0,011	2,086957	0,014	2,086957	0,011	2,086957	0,011
2700	2,347826	0,013	2,347826	0,014	2,347826	0,016	2,347826	0,014	2,347826	0,013
3000	2,608696	0,016	2,608696	0,016	2,608696	0,018	2,608696	0,016	2,608696	0,014
3300	2,869565	0,018	2,869565	0,018	2,869565	0,018	2,869565	0,018	2,869565	0,016
3600	3,130435	0,018	3,130435	0,020	3,130435	0,020	3,130435	0,018	3,130435	0,018
3900	3,391304	0,020	3,391304	0,020	3,391304	0,020	3,391304	0,018	3,391304	0,020
4200	3,652174	0,020	3,652174	0,022	3,652174	0,020	3,652174	0,020	3,652174	0,022
4500	3,913043	0,022	3,913043	0,022	3,913043	0,022	3,913043	0,022	3,913043	0,022
4800	4,173913	0,022	4,173913	0,022	4,173913	0,022	4,173913	0,023	4,173913	0,023
5100	4,434783	0,023	4,434783	0,023	4,434783	0,023	4,434783	0,023	4,434783	0,023
5400	4,695652	0,025	4,695652	0,025	4,695652	0,025	4,695652	0,025	4,695652	0,025
5700	4,956522	0,027	4,956522	0,027	4,956522	0,027	4,956522	0,027	4,956522	0,027
6000	5,217391	0,029	5,217391	0,029	5,217391	0,029	5,217391	0,029	5,217391	0,029
6300	5,478261	0,031	5,478261	0,029	5,478261	0,029	5,478261	0,029	5,478261	0,029
6600	5,73913	0,031	5,73913	0,031	5,73913	0,031	5,73913	0,031	5,73913	0,032
6900	6	0,032	6	0,032	6	0,031	6	0,031	6	0,032
7200	6,26087	0,034	6,26087	0,034	6,26087	0,0017	6,26087	0,034	6,26087	0,0018

APÊNDICE H – Relação Tensão x Deformação e instante de carga da primeira fissura para prismas com fibras aos 56 dias



Instante de carga da primeira fissura na idade de 56 dias



APÊNDICE I – ESTATÍSTICA DESCRITIVA

ESTATÍSTICA DESCRITIVA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO										
Tipo	Idade (dias)	Tensão (MPa)						Média (MPa)	Desvio padrão (MPa)	Coefficiente de variação (%)
Sem fibras	7	2,92	2,98	2,94	2,88	2,78	1,56	2,90	0,076	2,63%
	56	2,92	3,95	4,40	2,00	3,60	3,68	3,71	0,541	14,58%
Com fibras	7	2,94	2,88	2,84	2,78	2,96	2,98	2,90	0,058	2,01%
	56	3,36	3,67	3,70	4,11	4,02	3,44	3,72	0,258	6,96%

ESTATÍSTICA DESCRITIVA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO							
Tipo	Idade (dias)	Tensão (MPa)			Média (MPa)	Desvio padrão (MPa)	Coefficiente de variação (%)
Sem fibras	7	0,29	0,28	0,29	0,29	0,0058	2,01%
	28	0,37	0,36	0,38	0,37	0,0147	3,98%
	56	0,38	0,37	0,40	0,38	0,0153	3,98%
Com fibras	7	0,34	0,38	0,36	0,36	0,0200	5,56%
	28	0,42	0,40	0,42	0,42	0,0111	2,66%
	56	0,44	0,42	0,44	0,43	0,0115	2,66%

ESTATÍSTICA DESCRITIVA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO DIRETA									
Tipo	Idade (dias)	Tensão (MPa)					Média (MPa)	Desvio padrão (MPa)	Coefficiente de variação (%)
Sem fibras	7	0,99	0,89	1,06	0,97	0,81	0,94	0,10	10,20%
	28	1,09	0,97	1,15	1,06	0,88	1,03	0,10	10,20%
	56	1,13	1,01	1,2	1,1	0,92	1,07	0,11	10,20%
Com fibras	7	1,36	1,28	1,46	1,41	1,26	1,35	0,09	6,40%
	28	1,49	1,39	1,6	1,54	1,38	1,48	0,09	6,40%
	56	1,55	1,45	1,66	1,6	1,43	1,54	0,10	6,40%

CARACTERIZAÇÃO DA ARGAMASSA – DENSIDADE E CONSISTÊNCIA									
Tipo	DENSIDADE			CONSISTÊNCIA					
	Volum molde (g/cm ³)	Massa (g)	Densidade (g/cm ³)	L 1	L 2	L 3	Consistência (mm)	Dev. Pad (mm)	Coef. de variação
Sem fibra	0,4	716,0	1790,0	277,24	298,36	288,88	288	10,58	3,68%
Com fibra	0,4	690	1725,0	244,87	239,88	232,94	242	5,99	2,47%

ANEXO 1 – CARACTERIZAÇÃO DA FIBRA DE POLIPROPILENO

POLIFIBRA

VANTAGENS

Aumenta a vida útil, evitando retrabalho e reparos na sua obra acabada.
 Melhora a trabalhabilidade pelo aumento da coesão (melhora a "liga").
 Evita fissuras na sua obra por retração e variação térmica;
 Evita trincas na sua parede, contra piso, pisos, vigas, pilares, muros, calçadas e obras em geral;
 Aumenta a resistência à abrasão;

MODO DE USAR

- 1) Preparar a massa de cimento + água + agregados e aditivos quando necessário.
- 2) Adicionar a fibra na massa pronta, sendo:
Traço Básico 1:1
 01 saco de Polifibra para 01 saco de cimento 50Kg.
Traço Reforço 1:2
 02 sacos de Polifibra para 01 saco de cimento 50Kg.

ATENÇÃO:
 Não adicionar a fibra diretamente na água.
 Dispersar bem a fibra na mão para mistura manual.

- 3) Misturar na massa pronta por cerca de 2min com uso da betoneira ou 4min para mistura manual até dispersar bem as fibras.
- 4) Aplicar a massa com fibra no local desejado.

INSTRUÇÕES DE ARMAZENAMENTO
 Conservar o produto protegido da umidade.

Composição: Fibra Simétrica de Polipropileno
 Validade Indeterminada, Consulte Norma EN 14889-2

Fabricado por CNPJ: 00.308.527/0001-88
 Indústria Brasileira
 Distribuído por CNPJ: 21.610.214/0001-50
 GCMS - Rua Claudio Mendonça, 45
 São Paulo - SP - CEP: 04358-110
 SAC: +55 11 2365 7765 / 2361 7768
 www.construmarcas.com

7 1898957 1616732